Die Aussagekraft der Plethysmographie im Arbeitsversuch

Die Überprüfung der plethysmographischen Funktionsmessungen nach Kuiper und Brakkee (1971)

Norbert Weiß

1982

Aus der Gefäßchir. Abt. des Städt. Krankenhauses München-Neuperlach
Chefarzt: Prof. Dr. med. C. O. Netzer

DIE AUSSAGEKRAFT DER PLETHYSMOGRAPHIE IM ARBEITSVERSUCH

Die Überprüfung der plethysmographischen Funktionsmessungen nach Kuiper und Brakkee (1971)

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
verfaßt und einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Norbert Weiß
aus
München
1982

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät

der Universität München

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Berichterstatter:	Prof.Dr.med. C.O. Netzer
Mitberichterstatter:	Prof.Dr.med. W. Klinner
Dekan:	Prof.Dr.med. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 4.5.1982

Inhaltsverzeichnis

I Einleitung

1. Sozialmedizinische Bedeutung der Beinvenenleiden 1
2. Physiologie des Niederdrucksystems 2
3. Pathologie des venösen Rückflusses 3
4. Diagnostik der Beinvenenerkrankung 4
5. Zur Problematik und zum Ziel der Arbeit 6

II Methodik

1. Anfänge und Weiterentwicklung bis zur Gegenwart 8
2. Verfahrensweisen der Plethysmographie 8
3. Beurteilung der venösen Teilfunktionen 10

III Anordnung und Ausführung der Untersuchungsmethode 15

IV Krankengut 19

V Ergebnisse

1. Überprüfung der Faktoren, die die pv-V-Relation beeinflussen 22
2. Ergebnisse an gesunden Extremitäten 24
3. Ergebnisse bei Varikosis 32
4. Ergebnisse bei Thrombose 33
5. Ergebnisse bei Ödem und arteriellem Verschluß 33
6. Auswertung 34

VI Diskussion 38

VII Zusammenfassung 51

VIII Literaturverzeichnis 53

IX Lebenslauf 64

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554013_0099

I EINLEITUNG

1. Sozialmedizinische Bedeutung der Beinvenenleiden

Beinvenenleiden sind schon seit den Anfängen der Menschheit bekannt, wie Überlieferungen aus den Schriften der ältesten Kulturen beweisen. So wurden bereits im alten Ägypten die Varizen genau beschrieben (32). Auch konservative Therapie und die chirurgische Beseitigung von Krampfadern wurden in der Antike praktiziert (40, 84, 73). Waren im alten Ägypten, in Griechenland, im Römischen Reich sowie im Mittelalter die Therapieversuche der Beinvenenleiden vorwiegend das Anliegen der wohlhabenden Oberschicht und dienten kosmetischen Aspekten, so gewinnt in unserer Zeit die Diagnose und Therapie der Venenkrankheiten zunehmend sozialmedizinische Bedeutung.

Untersuchungen der dreißiger bis fünfziger Jahre unseres Jahrhunderts in den USA, Kanada, England und Dänemark ergaben eine Krankheitshäufigkeit von eins bis drei Prozent (20). Daß die Venenkrankheiten mit 2,1 % zu Krankenhausaufenthalt und mit 2,5 % sogar zu Arbeitsunfähigkeit führen können, erbrachten Arbeiten von Schiele-Luftmann (87). Regionale Untersuchungen, durchgeführt von medizinisch geschultem Personal zeigten weitaus größere Häufigkeiten, von ca. 12 bis 26 Prozent bei jüngeren Berufstätigen bis zu etwa 74 Prozent bei den über 65-jährigen Personen (15,28,44,80). Neuere Studien über die Abhängigkeit der pathologischen Venenveränderungen, insbesondere der Varizen, von familiärer Disposition und Alter, von Körpergewicht und Fußdeformitäten sowie von beruflicher Tätigkeit und unterschiedlichen Lebensgewohnheiten der Kulturen unterstreichen die sozialmedizinische Bedeutung der Beinvenenleiden trotz ihrer teilweise widersprüchlichen Ergebnisse. Dies liegt in den unterschiedlichen Patientenkollektiven begründet, sowie in positiven Selektionen und in Teilweise ungenügender Probandenzahl (50, 80, 97, 95, 45). Jüngste Verlaufsuntersuchungen berücksichtigen auch die Lokalisation der Veränderungen am Venensystem (84, 88). Ganz besonders wichtig ist das Krankheitsbild der tiefen Venenthrombose mit ihren Folgeerscheinungen der chronisch-venösen Insuffizienz, mit Stauungsödem über die Dermatosklerose bis hin zum Ulcus cruris, das lange Zeit ambulant oder stationär mit meist fraglichem Erfolg behandelt werden muß.

Angesichts der immensen Ausgaben der Krankenkassen für Venenkranke (87), müssen die Patienten dazu angehalten werden, ihr chronisches Leiden nicht nur als ein kosmetisches Problem zu betrachten. Auch Ärzte sollten sich eingehender über Prophylaxe, Diagnosemöglichkeiten und Therapie des Beinvenenleidens informieren. Dazu gehören auch Kenntnisse der anatomischen und physiologischen Grundlagen des venösen Abflusses.

2. Physiologie des Niederdrucksystems der unteren Extremität

Das epifasziale System mit Vena saphena magna und Vena saphena parva drainiert hauptsächlich Haut und subkutanes Gewebe der unteren Extremität. Das tiefe System mit den paarig angelegten, dem Arterienverlauf folgenden Unter- und Oberschenkelvenen entlastet überwiegend das subfasziale Gewebe. Von außerordentlicher Bedeutung für die Hämodynamik des venösen Abflusses sind die Vv. perforantes, die das tiefe System mit dem oberflächlichen verbinden. Die Venen der unteren Extremität sind von proximal nach distal in immer kürzeren Abständen mit Klappen besetzt, die den Abfluß des venösen Blutes erleichtern und für physiologische Druckverhältnisse sorgen (58, 91). Die Muskulatur der Waden und des Oberschenkels dient einerseits zur Bewältigung statischer und dynamischer Aufgaben, darüberhinaus hilft sie andererseits auch dem hydrostatischen Druck in den Venen entgegenzuwirken und durch einen Pumpeffekt die Peripherie zu entlasten (74).

Der Rückfluß aus der Vena femoralis erfolgt diskontinuierlich, am stärksten in der Exspirationsphase und bei beginnender Inspiration, während sich am Ende der Einatmung die Strömung stark verlangsamt, oft sogar stillsteht. Grund dafür ist, daß bei Inspirationsende der Druck in der Vena cava inferior höher als der des tiefen Venensystems der unteren Extremität ist (14). Die Bedeutung der Beinvenen umfaßt neben dem Blutrücktransport noch die Blutspeicherung (aus dem kapazitiven Gefäßsystem läßt sich ein Blutvorrat von ca 500 ml mobilisieren) und die Thermoregulation, vorwiegend Aufgabe des epifaszialen Sytems (84). Der Bluttransport aus den Venen wird von Schwerkraftverhältnissen dh. vom hydrostatischen Druck nicht wesentlich beeinflußt. Arterieller Zustrom, Druck, Volumen und Kapazität der Venen, sowie die Pumpfunktion der Beinmuskulatur beeinflussen sich in komplexer,

Weise und fördern, unterstützt von den ventilartigen Venenklappen den venösen Abfluß (74, 3, 18).

3. Pathologische Veränderungen des venösen Rückflusses

Heute unterscheidet man in der Pathologie der Beinvenen zwischen Varikosis (hier zwischen primärer und sekundärer Varikosis) und Thrombose (hier zwischen oberflächlicher Thrombophlebitis und tiefer Phlebothrombose). Der vielfach gebräuchliche Begriff der chronisch-venösen Insuffizienz faßt verschiedene Störungen im venösen Abfluß zusammen. Es können ein oder mehrere Faktoren dazu führen: Behinderung des venösen Rückstroms (zB. Thrombose, narbige Stenose, Teilrekanalisation, Tumoren), relative oder absolute Insuffizienz der Klappen der tiefen Venen, der Vv. perforantes oder der oberflächlichen Venen (38).

Als Postthrombotisches Syndrom wird der Zustand nach durchgemachter Phlebothrombose bezeichnet. Etwa 10 Monate nach Verschluß kommt es zur Rekanalisation. Das neue Venenlumen ist meist eng und unregelmäßig, die Venenklappen sind zerstört, so daß wegen dieser funktionellen Stenose auch die phlebographisch nachweisbaren Kollateralen, die sich nach der Thrombose bildeten, erhalten bleiben (61). Klappeninsuffizienz und starre, stenosierte Venenwände führen hier zur vorher genannten chronisch-venösen Insuffizienz.

Auch die Varikosis, Erweiterung der epifaszialen Venen, kann zur chronisch-venösen Insuffizienz führen, wenn dabei relative Insuffizienz der Klappen besteht. Die primäre Varikosis, eine essentielle Venenwandschwäche, spielt hier eine geringere Rolle als die sekundäre, die nach einem Verschluß der tiefen Venen auftritt. Seltenere Ursachen sind die angeborene Avalvulie, arteriovenöse Fisteln oder entzündliche Klappenveränderung (31, 96).

Nach Leu (63) ist die Pathologie der epi- und der subfaszialen Venen vergleichbar. Der gänzlich unterschiedliche klinische Verlauf ist hämodynamisch zu begründen.
Die Thrombophlebitis, die zu Rezidiven neigt und wegen der klassischen Entzündungszeichen leicht diagnostiziert werden kann, führt nicht zu nennenswerten Abflußstörungen, kann aber in eine Phlebo-

thrombose übergehen, besonders dann, wenn die Venen bereits varikös verändert sind (Varikophlebitis).

Bei der subfaszialen Thrombose kommt es zunächst zu Stauungen und zu Gerinnungsstörungen (29). Ein akuter thrombotischer Verschluß einer tiefen Stammvene führt über die venöse Hypertonie und damit verbundenen Austritt proteinreicher Flüssigkeit in das Gewebe zum erhöhten onkotischen Gewebsdruck und zum erniedrigten arteriovenösen Druckgradienten. Ein sich daraus entwickelndes Ödem steigert den Druck im Gewebe weiter, der im schlimmsten Falle sogar die Arteriolen komprimieren und sich zur Phlegmasia coerulea dolens entwickeln kann (22). Strombahnhindernis und Klappeninsuffizienz schmälern die Wirksamkeit der Wadenmuskelpumpe, jedoch nicht im Sinne einer Stromumkehr, sondern in einer Druckerhöhung besonders in den distalen Venenabschnitten (56, 74). Die dadurch verursachte Veränderung des venösen Abstroms führt zu den oben erwähnten Stauungsdermatosen bis hin zum Ulcus cruris.

4. Diagnostik der Beinvenenerkrankungen

Es soll an dieser Stelle kurz auf die diagnostischen Möglichkeiten zur Erfassung peripherer Venenerkrankungen eingegangen werden, besonders auf deren Wertigkeit für die Beurteilung und Verlaufskontrolle ; denn es kommt wegen der sozialmedizinischen Bedeutung nicht nur auf die rechtzeitige Diagnose sondern auch auf die richtige Beurteilung der akuten und chronischen venösen Durchblutungsstörungen an. Für spezielle Probleme und die technischen Details wird an die entsprechende Fachliteratur verwiesen.

Da Venenkrankheiten nicht zu einem typischen Schmerz führen, ist auf die indirekten klinischen Zeichen zu achten, wie auf Ödeme, Zyanose, Entzündungszeichen entlang der oberflächlichen Venenstränge, Konsistenz der Waden, typische Schmerzpunkte und auf die Venenfüllung am sitzenden und liegenden Patienten.

Bei der Varikosis unterscheidet man die primäre von der sekundären Form. Wichtig ist hier die Untersuchung der Saphenamündung in die

Vena femoralis, der Vv. communicantes sowie der Verlauf der Varizen. Erste Hinweise auf hämodynamische Störungen geben die Tourniquet-Tests von Trendelenburg, Perthes und Mahorner-Ochsner (67, 79). Sie zeigen defekte Venenklappen. Trotz zahlreicher spezifischer Zeichen für Hinweise auf Beinvenenthrombosen wurde in einer Studie von May an 20 Patienten und von Haeger-Malmö an 72 Patienten die klinische Diagnose in weniger als der Hälfte der Fälle bestätigt (71).

Die Phlebographie ist im Gegensatz zur klinischen Diagnose eine außerordentlich sichere Methode zur Beurteilung des Zustandes der tiefen Venen. Man unterscheidet die transossale, die aszendierende transkutane sowie die dreistufige Phlebographie (69). Trotz der Genauigkeit der Methode muß eine strenge Indikation gestellt werden, da sie invasiv mit möglichen Komplikationen behaftet (Kontrastmittelallergie, Infektionen, Hautnekrosen) und nicht zuletzt technisch aufwendig ist. Eine Kontraindikation besteht beim Patienten im schlechten Allgemeinzustand (94). Angewandt wird die Phlebographie vor Operationen(bei Varikosis und rekonstruierenden Eingriffen) wenn nach exakter klinischer Untersuchung ein Verdacht auf tiefe Thrombose gegeben ist. Kann die Phlebographie den Zustand des Venensystems gut darstellen, so gibt sie doch keine quantitativen Aussagen über die hämodynamische Situation (81).

Ein qualitatives Verfahren zur Untersuchung der Strömung im Venensystem bietet die Ultraschallsonde (17). Sie erlaubt nicht nur die Beurteilung der Strömungsgeschwindigkeit sondern auch der Stromrichtung und gibt damit eine einfache Möglichkeit, eine Klappeninsuffizienz zu erkennen (77). Es gibt bereits Methoden zur quantitativen Messung des Stromvolumens mit Hilfe der Ultraschalltechnik. Diese sind jedoch sehr aufwendig und haben sich in der klinischen Anwendung bis jetzt nicht durchgesetzt (19). Obwohl Vergleichsstudien zwischen der Ultraschallmethode und der Phlebographie eine Übereinstimmung von über 80 % ergaben, so stellt sie doch nur in Verbindung mit anderen Techniken eine ergänzende Untersuchung zur Erfassung von venösen Durchblutungsstörungen dar (90).

Spezielle Methoden der Beinvenendiagnostik sind die Anwendung von J-131-Humanfibrinogen, die eine frühe Diagnose eines Thrombus erlaubt, jedoch auch Fehler und Gefahren mit sich bringt (12) und die Indikatorverdünnungsmethode zur qualitativen Strömungsbeurteilung (66).

Nach May (70) ist die Venendruckmessung neben der Röntgendarstellung der Venen deshalb unentbehrlich, weil sie am genauesten eine gestörte Hämodynamik anzeigt. Dabei ist zur Beurteilung der venösen Leistungsreserven die Druckminderung bei definierter Belastung maßgebend. Man unterscheidet die Druckmessung an Beckenvenen, die anzeigt, ob generell eine Abflußbehinderung vorliegt von der peripheren Venendruckmessung, die eine quantitative Aussage über die gestörte Funktion der Muskelpumpe zuläßt und hämodynamische Änderungen bei Varikose, Thrombose sowie beim Postthrombotischen Syndrom charakterisiert. Besonders aufschlußreich ist diese Methode bei Verwendung von Tourniquets. Die technischen Details und die Probleme der peripheren Druckmessung werden im Kapitel II (Methodik) erläutert, da sie bei dieser Arbeit mit der Plethysmographie verglichen wird.

Die heute gebräuchlichen Methoden zur Beurteilung der venösen Teilfunktionen (Volumen, Kapazität, Druck, Strömung und Drainage) teilen sich in qualitative und quantitative sowie in blutige und unblutige Verfahren ein. Eine ideale Methode in der täglichen Praxis wäre die Kombination von quantitativer und unblutiger Messung. Diese Vorteile sind in der Plethysmographie vereint. Deren Funktionsprüfungen an Beinvenen sind die Messung der druckabhängigen Kapazität, der venösen Drainagefähigkeit und des arteriellen Einstroms. Im Arbeitsversuch wird die hämodynamische Leistung der Muskelpumpe geprüft (60, 93, 76). Kombiniert mit Tourniquet-Tests läßt sie Aussagen über die tiefe venöse Strombahn zu.

5. Zur Problematik und zum Ziel der Arbeit

Die Plethysmographie ersetzt die blutige Methode der Venenpunktion zur Feststellung von Funktionsstörungen im Venensystem. Um quantitative Änderungen von Druck und Blutfülle der Venen eines Extremitätensegments exakt zu erfassen, erscheint die von Kuiper 1971 beschriebene Methode zur Routineuntersuchung venöser Zirkulations-

störungen am geeignetsten.
Es soll mit dieser Arbeit festgestellt werden, welche Aussagekraft diese Methode für die praktische klinische Beurteilung des tiefen und des oberflächlichen Venensystems hat.

II METHODIK

1. Anfänge und Weiterentwicklung bis zur Gegenwart

Die ersten Beobachtungen und Messungen einer Volumenzunahme bei venösem Stau wurden 1905 von Brodie und Russell beschrieben (23). Hewlett und van Zwaluwenburg untersuchten 1909 an Hand einer erstmals klinisch tauglichen Plethysmographie mit einem dichten, luftgefüllten Gefäß um einen Arm den arteriellen Einstrom durch die meßbare Volumenzunahme (55). Dabei wurden schon damals Beziehungen des einströmenden Blutvolumens zum Druck, hervorgerufen durch venösen Stau, festgestellt. 1959 wurde der wassergefüllte Plethysmograph eingeführt, als das Problem der Abdichtung zwischen Extremität und Zylinderwand gelöst wurde.(1, 26, 54, 65). Die Grundlagen für die plethysmographischen Untersuchungen in der Klinik wurden in den fünfziger und sechziger Jahren erarbeitet (30, 100, 72, 6, 57, 16). Später wurden die Methoden, die die ganze Extremität erfaßten, durch die Segment-Verschlußplethysmographie ersetzt (55). Dabei wurde die Volumenvermehrung bei Stau der Extremität von Meßmanschetten, die entweder Luft oder Wasser enthielten, erfaßt. Die heute am häufigsten angewandte Methode, die Quecksilber-Dehnungsmeßstreifen (strain-gauges) verwendet, geht auf Arbeiten von Glaser (41) und Withney (98) zurück. Die Nachteile der strain-gauges, Gleithemmung durch Reibung, Temperaturempfindlichkeit der Meßfühler, Auflagedruckänderung während der Messung, Eichung bei jeder Messung, konnten durch die Geräte von Gutmann, Eurasburg (BRD) und Parks Elektronics, Beaverton (USA) weitgehend eliminiert werden (48, 84, 33). Vergleichsmessungen mit wassergefüllten Plethysmographen bestätigten dies (51, 8, 13).

2. Verfahrensweisen der Plethysmographie

Die mit Wasser gefüllten Plethysmographen sind die ältesten, zugleich aber auch die exaktest arbeitenden Geräte. Obwohl sie störungsfrei arbeiten und unempfindlich sind, konnten sie sich wegen der technischen Schwierigkeiten (komplizierte Handhabung, Temperaturanfälligkeit, Dichtungsproblem) nicht durchsetzen. Es gibt bis heute keinen im Handel erhältlichen wassergefüllten Plethysmographen. Außerdem ist es, wie Ergebnisse und Diskussion dieser Arbeit zeigen, nicht sinnvoll, nur die venösen Teilfunktionen, Druck, Kapazität, arteriellen Einstrom und venöse Drai-

nage anzugeben, sondern auch die Funktion der Muskelpumpe und deren hämodynamische Leistung zu überprüfen. Hierfür sind Wasserplethysmographen untauglich, da eine Messung von Volumenänderungen bei Lagewechsel und aktiver Muskelarbeit nicht möglich ist. Für Vergleichsmessungen zur Überprüfung der Wertigkeit anderer plethysmographischer Methoden sind diese Geräte jedoch sehr gut geeignet.

Luftgefüllte Meßmanschetten wurden erstmals 1959 benützt (42). Routinemessungen mit verbesserten Geräten führten Barbey und Brecht 1965 durch (6). Die Manschetten sind flexibel, luftgefüllt, liegen mit einem vorgegebenen Anlagedruck um das zu messende Extremitätensegment und übertragen die Volumenänderung des darunterliegenden Segments in eine Druckänderung in der Manschette, die registriert werden kann. Einfache Handhabung, ausreichende Genauigkeit für die klinischen Bedürfnisse, Verwendung auch bei Lagewechsel und Temperaturunabhängigkeit bei über 23 Grad Celsius sind Gründe für die weite Verbreitung dieser Geräte in der klinischen Routinediagnostik (8). Im Handel sind sie erhältlich durch die Fa. Bouke, Tübingen (BRD).

Da sämtliche plethysmographischen Messungen mit den strain-gauges durchgeführt wurden, soll diese Methode hinsichtlich der praktischen Grundlagen des verwendeten Geräts hier genauer erläutert werden. Die strain-gauge-Meßfühler bestehen aus einem hochelastischen Silikonschlauch, gefüllt mit Quecksilber. Dieser ist durch eine Plastik-Gliederkette gezogen, so daß kein direkter Kontakt des Hg-Schlauches mit der zu messenden Extremität besteht. Damit ist eine thermische Isolation (61) und auch eine mögliche Reibung am Bein ausgeschlossen (49). Um bei jedem möglichen Beinumfang einen richtigen Auflagedruck der Meßfühler zu gewährleisten, werden verschiedene Längen hergestellt. Jeder dieser strain-gauges kann wiederum durch einen Kettenverschluß in jede beliebige Stellung gebracht werden. Die Längenveränderung des Hg-Schlauches, durch Volumenänderung hervorgerufen, bringt eine elektrische Widerstandsänderung mit sich. Ausgangsvolumen (V) und Anfangswiderstand (R) sind proportional zu Volumen- und Widerstandsänderung. Aus dieser Beziehung läßt sich die Volumenänderung berechnen:

$$\Delta V = \frac{V \cdot \Delta R}{R}$$

Die Volumenänderung wird also indirekt über die Umfangmessung erhalten. Dabei wird annäherungsweise die Extremität als ein zylindrisches Segment betrachtet. Es besteht eine lineare Beziehung zwischen Volumen- und Umfangsänderung.

Bei den Geräten der Fa. Gutmann, Eurasburg, rechnet ein Analogrechner das Ergebnis der Umfangszunahme sofort in ml Blutzufuhr bzw. in ml venöse Drainage pro 100 ml Gewebe um. Es kann auf diese Weise aus der Umfangmessung direkt auf die jeweilige Kapazität geschlossen werden. Damit ist die Überprüfung der Funktionen des arteriellen wie auch des venösen Gefäßsystems möglich. Für die plethysmographischen Messungen in dieser Arbeit wurde der Kompaktplethysmograph Periquant 201 der Fa. Gurmann mit eingebautem Kompensationsschreiber verwendet. Zubehör waren verschiedene Meßfühler, Oberschenkelmanschetten, ein Standbrett mit entsprechendem Ausschnitt für Messungen am Vorfuß, eine spezielle Liege für die Patienten, um garantiert Messungen ohne Behinderung der venösen Drainage durchführen zu können. Mit diesen technischen Hilfsmitteln kann das längst bekannte Verfahren der Plethysmographie im Routinebetrieb eingesetzt werden.

3. Plethysmographische Beurteilung der venösen Teilfunktionen

Am liegenden Patienten lassen sich durch die Venenverschlußplethysmographie ohne besonderen technischen Aufwand und sehr rasch der arterielle Einstrom, die druckabhängige Kapazität und die venöse Drainage beurteilen. Der Patient ist dabei so gelagert, daß das zu messende Bein etwas über Herzniveau liegt und für freien venösen Abstrom gesorgt ist. Am Oberschenkel wird eine Staumanschette (13 cm breit) angelegt. Meßstelle kann der Vorfuß, der distale Unterschenkel oder der größte Wadenumfang sein (das sind die am meisten benützten Meßstellen). Die Venenstauung erfolgt durch rasches Aufblasen der Manschette (dabei geben die Autoren verschiedene standardisierte Drücke an). Der Druck wird solange belassen, bis ein Gleichgewicht zwischen Venendruck und -volumen hergestellt ist und somit die maximale Kapazität beim betreffenden Druck erreicht ist. Durch plötzlichen Druckabfall in der Manschette gibt man den Venen wieder die volle Drainagemöglichkeit. Ebenso wie die Zeit bis zum Erreichen des

Kapazitätsmaximum und der Neigungswinkel der Kurve Maße für die arterielle Durchblutung sind, so ergibt sich aus dem Kurvenabfall die Drainagefähigkeit der Venen.

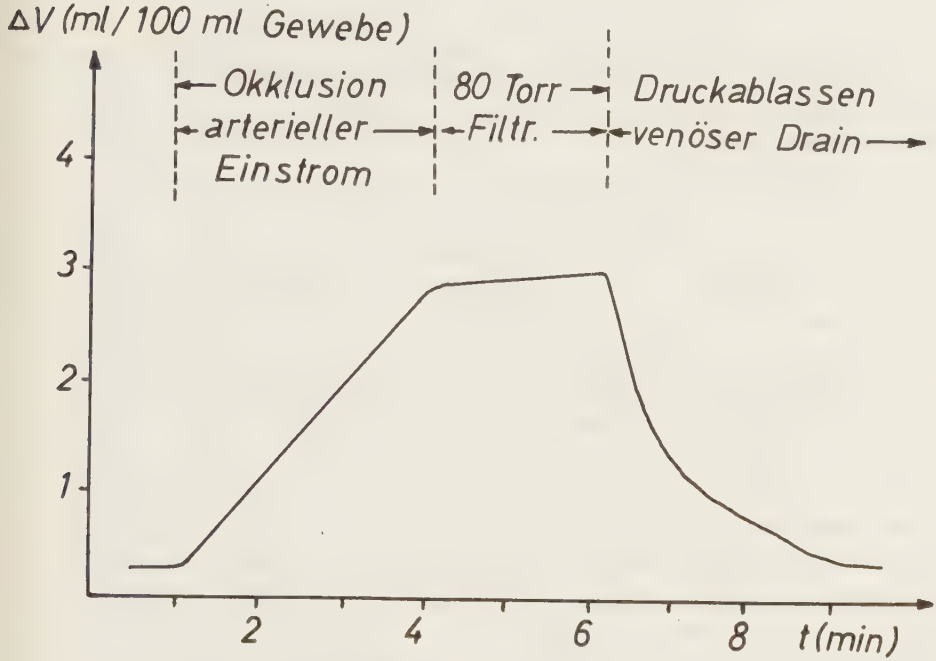

Abb. 1 Venenverschlußplethysmographie:
Registrierung einer typischen Untersuchung beim Manschettendruck von 80 mm Hg in Beinhochlagerung.

Etwa zwei bis drei Minuten nach Beginn des Staus neigt sich die Volumenänderungskurve in die Horizontale. Eine geringe zusätzliche Steigung zeigt die Filtration in das Gewebe an. Nach plötzlichem Druckabfall sinkt die Kurve zunächst sehr steil ab, um dann mit einem deutlichen Knick in einen flacher abfallenden Verlauf überzugehen. Arterieller Einstrom und venöse Drainage (die meisten Autoren messen sie als Maximal-venösen Abstrom in den ersten Sekunden nach Ablassen des Staus) lassen sich mit Hilfe der von Gutmann herausgegebenen Schablone auswerten. Der Wert für die Kapazität beim entsprechenden Manschettendruck läßt sich direkt aus der Ordinate ablesen, die den Volumenunterschied angibt. Bei arteriellen Durchblutungsstörungen oder venösen Abflußhindernissen ändert sich die Kurve in charakteristischer Weise.

Die druckabhängige Kapazität läßt auf den Dehnungswiderstand des Niederdrucksystems schließen. Im Pathologischen Fall führt durch eine Elastizitätsabnahme der Venenwand ein definierter Innendruck zu einer Zunahme der venösen Kapazität. Andererseits verursacht eine Verlegung eines größeren Venenstranges im tiefen Venensystem eine Kapazitätserniedrigung. Auch bei der Varikosis und beim orthostatischen Syndrom ergeben sich Abweichungen vom Normalzustand (78). Zur exakten Beschreibung dieser pathologischen Fälle dient die Druck-Volumen-Kurve. Die erhält man ebenfalls am liegenden Patienten. Für die zahlreichen Druck-Volumen-Kurven dieser Arbeit wurde auf die Konstanz der Meßbedingungen besonders geachtet (siehe Teil III, V und VI). Da bei der Plethysmographie nur Volumenänderungen gemessen werden, ist eine gleiche Lagerung aller Patienten wichtig. Die Meßstelle lag bei allen Probanden 15 cm über dem Niveau des rechten Vorhofes. Mit der Messung wurde jeweils erst begonnen, wenn keine Volumenänderung mehr zu registrieren war. Auf die Aufzeichnung kompletter Druck-Volumen-Diagramme, mit Berücksichtigung des Grundvolumens, wie von Mareês und Barbey beschrieben (68), wurde verzichtet, da sie für die Beurteilung der hämodynamischen Funktion der Wadenmuskelpumpe deshalb belanglos sind, weil das Fassungsvermögen der Wadenvenen im pathologischen Falle keine Rückschlüsse auf die Pumpleistung zuläßt. Ebenso wurde auf die kontinuierliche Drucksteigerung, bei der man sog. Druck-Volumen-Schleifen erhält (78), verzichtet, da sich herausstellte, daß für jeden Patienten eine charakteristische Zeit (ca. 3 bis 6 Minuten) abgewartet werden muß, um die jeweilige druckabhängige maximale Kapazität zu erhalten. Die Druck-Volumen-Schleifen sind für die Berechnung der Pumpleistung der Wadenmuskulatur zu ungenau. Zudem ist bei kontinuierlicher Drucksteigerung der Druck in oberflächlichen und tiefen Venen unterschiedlich (68). Deshalb wurde auf das zeitmäßig aufwendige Verfahren zurückgegriffen, Meßwert für Meßwert eigens zu bestimmen und jeweils danach wieder den Ausgangswert einzupegeln. Eine Standardisierung der Manschettenfüllung bis zum gewünschten Druck ergab sich zwangsläufig durch das Gerät der Fa. Gutmann.

Man erhält auf diese Weise zunächst eine Manschettendruck-Volumen-

Kurve (pm-V-Kurve), die durch Korrekturfaktoren (siehe Teil III und V) auf echte Veneninnendruckverhältnisse bezogen werden kann (pv-V-Kurve).

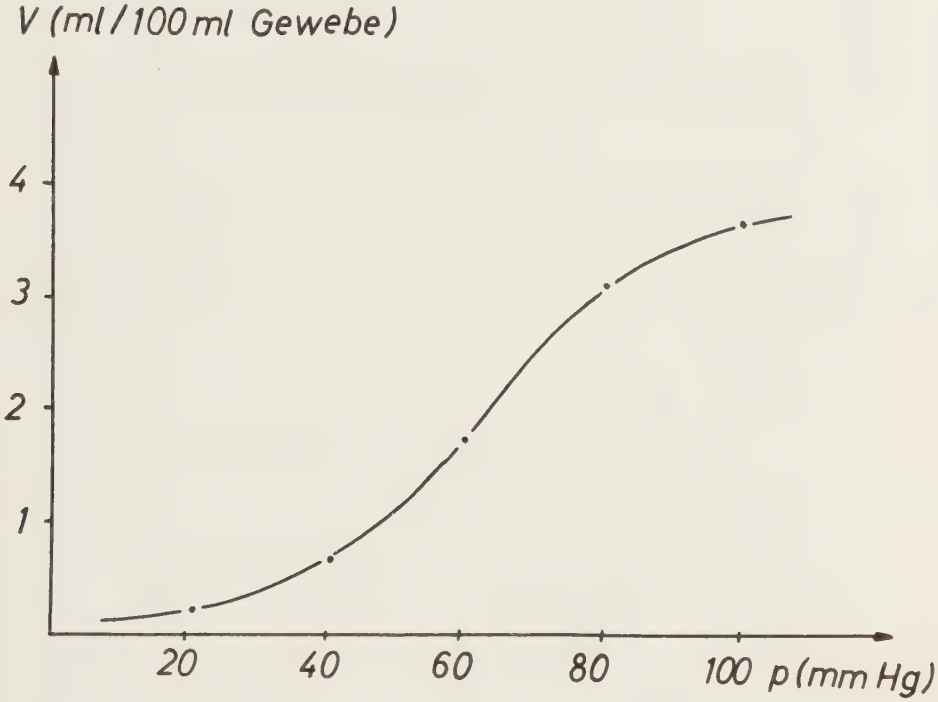

Abb. 2 Venenverschlußplethysmographie:
Darstellung einer typischen Manschettendruck-Volumen-Kurve eines beinvenengesunden Probanden (57).
Meßstelle: Vorfuß
Methode: strain-gauge-Plethysmographie

Beim ruhig stehenden Menschen ist der Druck im oberflächlichen wie im tiefen Venensystem konstant und im wesentlichen gleich groß. Bei Betätigen der Wadenmuskelpumpe sinkt zunächst nach der Kontraktionsphase nur der Venendruck im tiefen System. Die Muskulatur hat keinen direkten Einfluß auf die epifaszialen Venen. Erst nach Entleerung der tiefen Venen kommt es zur Sogwirkung auf das Oberflächliche System (74). Plethysmographisch läßt sich diese Entlastung

durch eine Volumenabnahme mit Hilfe der strain-gauge-Methode leicht registrieren. Mit ihr mißt man den Volumenabfall des gesamten Vorfußes und damit den mittleren Druckabfall des epi- und subfaszialen Venensystems (60). Die Messung beginnt beim ruhig stehenden Probanden. Während einer definierten Arbeit (siehe Teil III) wird die Volumenminderung solange verfolgt, bis ein niedrigeres Plateau erreicht ist. Pathologische Veränderungen, wie Thrombosen in tiefen Stammvenen oder ein insuffizienter Klappenapparat lassen sich durch eine geringere Volumenerniedrigung erkennen (siehe V und VI).

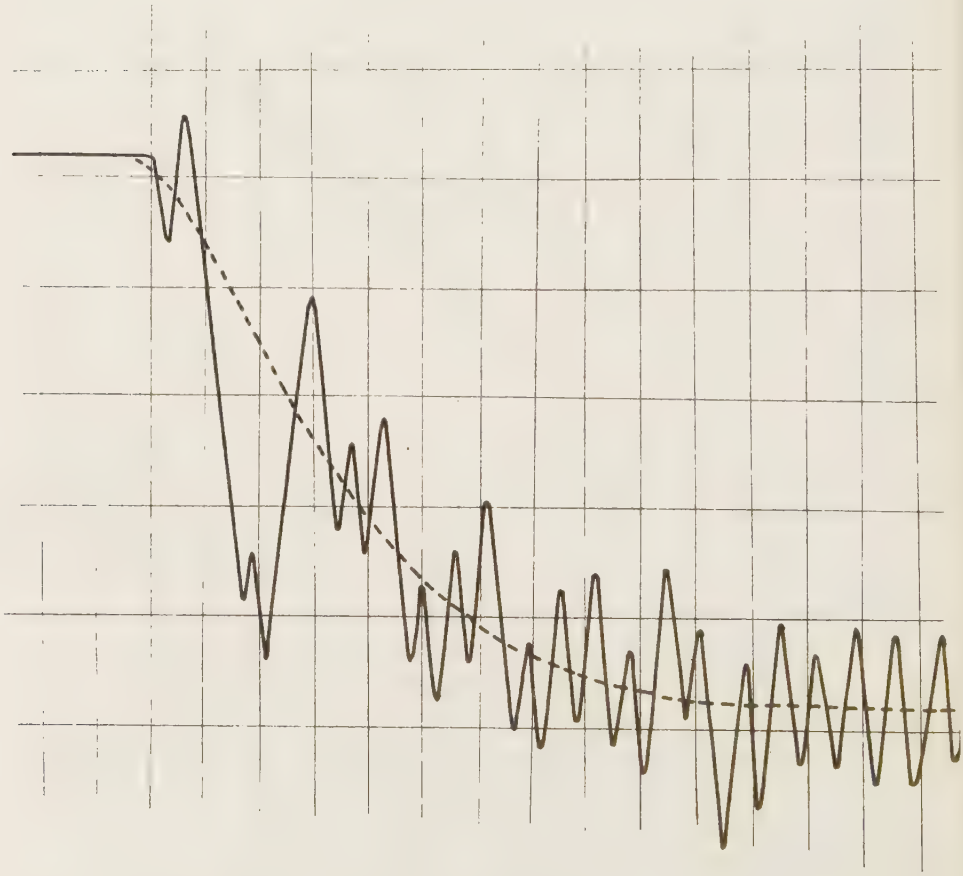

Abb. 3 Plethysmographie - Arbeitsversuch:
Registrierung des typischen Volumenabfalls eines beivenengesunden Probanden bei rhythmischer Bewegung der Wadenmuskulatur (Zehenstände).
Gerät: Periquant 102 (Gutmann) Meßbereich II
Ordinate: 100 mm entspr. 3,0 ml/ 100ml Gewebe

III AUSFÜHRUNG DER UNTERSUCHUNGSMETHODEN

Nach Kuiper und Brakkee (6o) sind für die unblutige Messung der Druckänderung in den Venen folgende Schritte notwendig:

1. Registrierung der Volumenänderung des Vorfußes im Arbeitsversuch

Der Patient steht nach Raumadaption in ruhiger Haltung auf einem Standbrett mit entsprechendem Ausschnitt für den Meßfühler. Dieser ist am Vorfuß mit einem geringen Auflagedruck vorgespannt und mit einem Heftpflasterstreifen befestigt. Die Anzahl der Kettenglieder zwischen Meßfühler und Haken entspricht dem Korrekturfaktor, der am Gerät einzustellen ist. Nachdem die Verbindung zwischen Meßfühler und Gerät hergestellt ist, läßt man den Schreiber im entsprechenden Meßbereich (je nach zu erwartendem Volumenabfall) laufen und wartet einige Sekunden, bis ein oberes Plateau abgebildet ist. Danach läßt man den Patienten im Takt von 40 Zehenständen pro Minute solange bewegen, bis ein eindeutiges unteres Plateau erreicht ist. Diesen Arbeitsgang wiederholt man jeweils nach Wiedereinstellung des oberen Niveaus einmal mit und einmal ohne Tourniquet, der etwas oberhalb des Kniegelenkes angelegt wird. Im physiologischen Fall sollen alle drei Messungen gleich groß sein, im pathologischen Fall mindestens die beiden Werte ohne Stauschlauch. Maßgebend für die Auswertung ist die Mitte der Zeigerausschläge nach oben und unten, hervorgerufen durch die Bewegung des Patienten. Eine Eichung der Ausschläge erübrigt sich bei der Verwendung der Geräte von Gutmann, da diese einen Analogrechner beinhalten. Bei Verwendung des Meßbereichs I entspricht ein Zeigerausschlag von 10 mm einer Volumenänderung von 0,1 ml pro 100 ml Gewebe, beim für Vorfußmessungen gebräuchlicheren Bereich II entspricht ein Ausschlag von 10 mm einer Änderung von 0,3 ml pro 100 ml Gewebe (Abb. 3).

2. Bestimmung der Beziehung Druck-Volumen (pv-V-Relation)

Die Messung erfolgt wie in Teil II Absatz 3 beschrieben. Zunächst erhält man die Manschettendruck-Volumen-Kurve (pm-V-Relation), wie in Abbildung 2 ersichtlich. Der Druck der Staumanschette kann nicht an Stelle des intravenösen Drucks eingesetzt werden. Es wird lediglich ein Teil des Manschettendrucks für die Drucksteigerung in den Venen zur Verfügung stehen. Kuiper und Brakkee (6o) geben zur Vereinfachung

der Methode eine Korrekturfaktor g = 0,7 für die Umrechnung der pm-V- in die pv-V-Relation an. Im Teil V wird mit Hilfe einer 13 cm breiten Druckmanschette eine Abhängigkeit des Korrekturfaktors g von den Oberschenkel-abmessungen bei 19 Patienten graphisch dargestellt. Diese Abhängigkeit wird bei sämtlichen Messungen dieser Arbeit berücksichtigt (siehe Abb. 6)

3. Übertragung der Volumenänderung vom Arbeitsversuch in eine Druckänderung

Zunächst wird der hämostatische Druck in den Venen unter dem Meßfühler festgestellt. Hierzu wird der Abstand zwischen Meßstelle und dem 4. Interkostalraum (Lage des rechten Vorhofes) gemessen. Der hämostatische Druck wird mittels der spezifischen Gewichte von Quecksilber und Blut berechnet und als standing venous pressure (svp) bezeichnet.

Beispiel: 4. ICR - Meßstelle = 132 cm
spez. Gew. v. Blut = 1,06 g/cm^3
spez. Gew. v. Hg = 13,6 g/cm^3

$$760 \text{ (mm Hg)} = (13{,}6 \cdot 76) = 1033 \text{ (g/cm}^2\text{)}$$
$$x \text{ (mm Hg)} = 1{,}06 \text{ (g/cm}^3\text{)} \cdot 132 \text{ (cm)}$$

$$x = \frac{760 \cdot 1{,}06}{1033} \cdot 132$$

$$x = 103 \text{ (mm Hg)}$$

Für alle zukünftigen Messungen vereinfacht:

$$\boxed{\text{svp (mm Hg)} = 0{,}78 \cdot \text{Abst. 4 ICR - Meßstelle}}$$

Geht man von diesem errechneten Punkt in der Abszisse der mit dem Korrekturfaktor g neu erhaltenen pv-V-Relation senkrecht nach oben bis zum Schnittpunkt der Druck-Volumen-Kurve, und zieht von diesem Schnittpunkt die beim Arbeitsversuch gemessenen Volumenänderungen ab, so erhält man, von diesem Punkt nach waagrecht ausgehend zur pv-V-Kurve aus der Differenz direkt den Druckabfall. Dieser Druckabfall wird als walking-venous-pressurefall (wvp) bezeichnet und in Prozent vom svp angegeben.

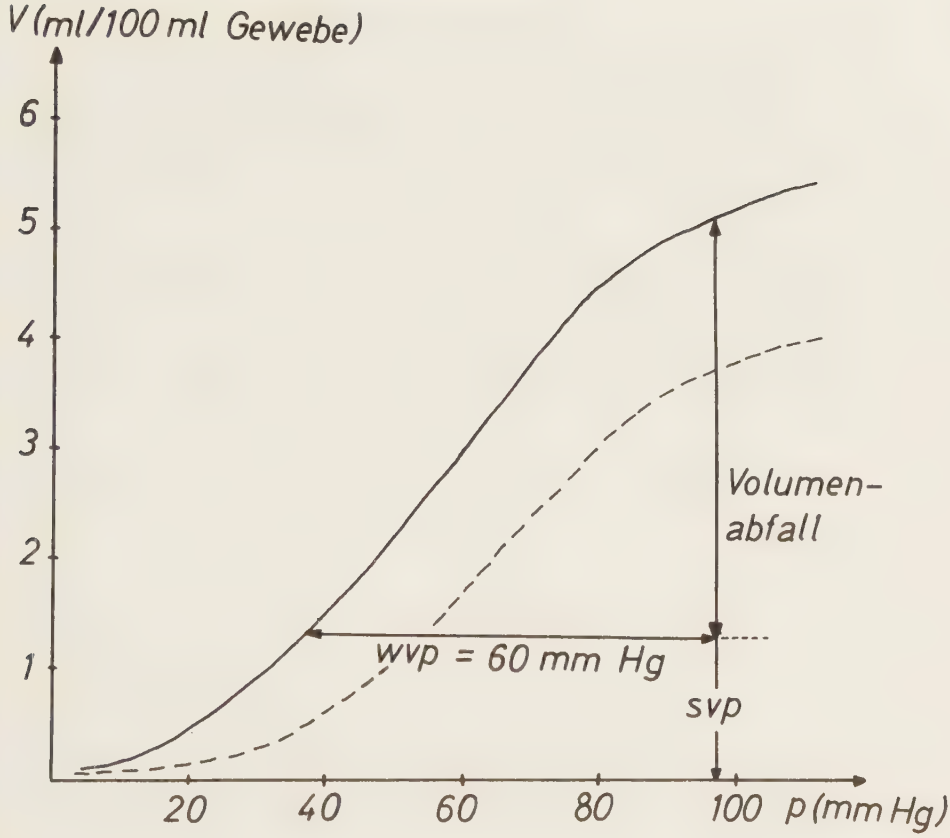

Abb. 4 unblutige Venendruckmessung
typische Verhältnisse beim beinvenengesunden Probanden
gestrichelte Linie: pm-V-Relation
durchgezogene Linie: pv-V-Relation
mittels des svp und des Volumenabfalls läßt sich aus dieser Graphik direkt der wvp in mm Hg ablesen.

Es soll an dieser Stelle noch kurz auf die periphere blutige Venendruckmessung eingegangen werden, die als Bezugsmethode zur unblutigen plethysmographischen Venendruckmessung herangezogen wird. Nach der Punktion einer Fußrückenvene oder der Vena saphena magna im Fußknöchelbereich wird die Kanüle an ein T-System angeschlossen, mit einer Verbindung zu einem Vorratsbehälter mit physiologischer Kochsalzlösung und zu einem Meßschlauch, der im Prinzip kommuni-

zierender Röhren mit der punktierten Vene verbunden werden kann. Vor der Punktion wird das Schlauchsystem mit der NaCl-Lösung gefüllt. Vor der eigentlichen Druckmessung wird durch den Druck der hoch hängenden Vorratsflasche die freie Durchgängigkeit von Kanüle und Vene geprüft und dann durch eine Dehnung am Dreiwegehahn eine alleinige Verbindung zum Meßschlauch hergestellt.

Zunächst wird der Ruhedruck gemessen, dann der Druck nach Muskelpumpenaktivität. Das gleiche wird noch einmal wiederholt. Der Druckabfall wird in Prozent zum Ausgangsdruck umgerechnet und mit dem unblutig erhaltenen walking-venous pressurefall (%) verglichen.

IV KRANKENGUT

Mit der unblutigen plethysmographischen Venendruckmessung, modifiziert nach Kuiper und Brakkee (60) wurden 65 Personen in 79 Sitzungen untersucht. Dabei wurden 13 Probanden doppelt, einer dreifach zu verschiedenen Terminen plethysmographiert. Bei 53 Personen wurden innerhalb von je 30 Minuten insgesamt 114 Doppelversuche vorgenommen, teils mit, teils ohne Tourniquet. Dabei ergaben sich bei den 65 Personen, deren Extremitäten je nach klinischen Befund getrennt beurteilt werden mußten, 250 Einzelwerte für den Druckabfall bei einer definierten Arbeitsleistung, 149 Werte für die Kapazität, abhängig vom hämostatischen Druck, und 114 Werte für den maximalen venösen Abfluß. Um Normwerte für Gesunde, und damit Bezugswerte für pathologisch veränderte Hämodynamik und Kapazität zu bekommen, wurden 30 gesunde Extrmitäten in 27 Sitzungen 68 mal plethysmographiert.

Auf Grund von Untersuchungen anderer Autoren, kann die Messung am symptomfreien kontralateralen Bein sowohl der Gesunden, wie auch der einseitig Beinvenenkranken zu den Werten der physiologischen Extremität gerechnet werden (69, 70, 71). Das gilt für die akute Thrombose, das postthrombotische Syndrom und die Varikosis gleichermaßen, wenn nur ein Bein betroffen ist. Getrennt zu beurteilen sind auch andere Kombinationen, wie zum Beispiel das relativ häufige Vorkommen von tiefen Venenthrombosen in einer Extremität bei beidseitiger Varikosis.

Eine klinisch manifeste Varikose wird eingeteilt in leichtere Fälle, wenn sie keine Beschwerden verursacht und sie vom Patienten selbst eher als ein kosmetisches Problem betrachtet wird. In dieser Gruppe sind vorwiegend die primären Varizen zu finden. Die schweren Fälle veranlassen den Patienten, vor allem wegen ihrer Beschwerden, die von nächtlichen Wadenkrämpfen bis hin zum Ulcus cruris reichen, den Arzt aufzusuchen. Bei der leichten Varikosis wurden 33 Extremitäten in 25 Sitzungen 64 mal plethysmographiert. 20 Beine mit schwerer Varikosis wurden an 19 verschiedenen Terminen 32 mal plethysmographiert.

Ungleich schwerer als die Einteilung der Varizen ist die der Thrombosen. Die klassische Unterscheidung zwischen einer akuten

Thrombose und dem postthrombotischen Syndrom war in dieser Arbeit nicht möglich, da akute Phlebothrombosen aus innerklinischen Gründen nicht plethysmographiert werden konnten. Wegen gravierender Unterschiede im Beschwerdebild wie auch in klinischer Ausprägung mußte eine Einteilung gefunden werden, die auch Vergleiche mit den Untersuchungsergebnissen anderer Autoren zuläßt. Deshalb wurde in einen akuten Zustand nach Phlebothrombose, in der die Rekananlisation des Venenlumens noch nicht abgeschlossen war und in den späten postthrombotischen Zustand mit sekundärer Varikosis und chronisch venöser Insuffizienz eingeteilt. Natürlich gibt es fließende Übergänge, die eine klare Trennung der Zustände nach Phlebothrombose fragwürdig erscheinen lassen, weil sie die deutlichen Unterschiede der extrem auseinanderliegenden Fälle verwischen. Die Ergebnisse dieser Arbeit rechtfertigen jedoch die Einteilung.
13 Extremitäten mit frühem Zustand nach Thrombose wurden in 13 Sitzungen 30 mal plethysmographiert, während 13 Beine im späten Zustand nach Thrombose in 11 Sitzungen 24 mal gemessen wurden.

Tab. 1 Verteilung des Patienten gutes und der Untersuchungen:

	Männer	Frauen	Gesamt
Patienten	23	42	65
Beine	44	76	120
Plethysmogramme	93	156	249
gesunde Beine	16	9	25
leichte Varikose	7	26	33
schwere Varikose	6	14	20
akute Thrombose	3	10	13
später Z. n. Thr.	6	7	13
Lymphödem		8	8
arter. Verschluß	4		4

Des weiteren kamen noch 4 Patienten mit chronischem Lympödem und 2 Patienten mit arterieller Verschlußerkrankung (AVE) zur Untersuchung. 8 ödematöse Beine konnten in 5 Sitzungen 15 mal und 4 Beine mit arteriellen Durchblutungsstörungen in 3 Sitzungen 6 mal plethysmographiert werden.

Um Vergleichswerte von Unterschenkel- und Vorfußplethysmogrammen zu erhalten, sind bei 8 Personen 15 Extremitäten innerhalb von 15 Minuten an beiden Lokalisationen je 15 Kapazitäts- und Drainagemessungen vorgenommen worden.

Zusätzliche periphere blutige Venendruckmessungen, wie in Teil III beschrieben, wurden bei 11 Patienten an 19 Extremitäten jeweils vor der Plethysmographie als Vergleichsmethode angewandt.

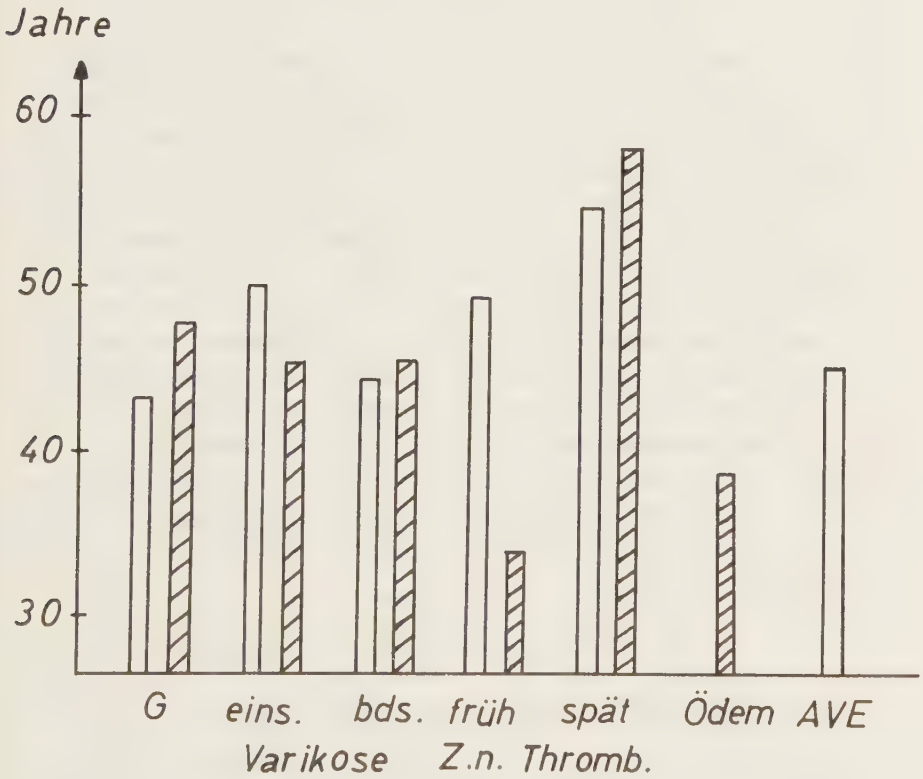

Abb. 5 Durchschnittsalter der untersuchten Personen
G Gesunde
AVE arterielle Verschlußerkrankung
schraffiert: Frauen
leer: Männer

V ERGEBNISSE

1. Überprüfung der die pv-V-Relation beeinflussenden Faktoren

Distensibilitätsveränderungen auf Grund von Kälte- oder Wärmeeinwirkung kommen in der Druck-Volumen-Beziehung durch Veränderung der Kurvensteigung zum Ausdruck. Der zu untersuchenden Person sollte es nach der Raumadaption daher angenehm warm sein. Kuiper plethysmographierte in einem temperaturkonstanten Raum von 28 bis 30 Grad Celsius (60). Daß höhere Temperaturen keine weiteren Venenvolumenzunahme mehr hervorrufen, zeigten Condorelli und Thron (25, 92). Deutlichere Ausdehnungsveränderungen der Venen zeigen sich bei Temperaturen unter 22 Grad C. (59). Rudofsky erzielte bei einer fünfminütigen Kaltwasserapplikation bei ca. 11 Grad C. eine gleichmäßige Abflachung der Druck-Volumen-Kurve von etwa 25 % (84). Es stehen genaue Untersuchungen der p-V-Abhängigkeit bei kontinuierlicher Abkühlung von 28 auf 15 Grad C. noch aus. Ebenso ist die Abhängigkeit der Muskelpumpleistung von der Temperatur ungeklärt. Rudofsky registrierte bei Temperaturen um 40 Grad eine starke Abnahme und bei extrem niederen Temperaturen eine Steigerung der Pumpleistung (84). Es ist zu erwarten, daß bei normalen Zimmertemperaturen keine wesentlichen Änderungen auftreten. Da mit dieser Arbeit die Brauchbarkeit der Plethysmographie bei normalen Bedingungen geklärt werden soll, wurden bei Raumtemperaturen von 21 - 26 Grad C. an 27 gesunden Beinen 54 wvp- und 28 Kapazitätsmessungen ausgewertet.

Tab. 2 Abhängigkeit von Kapazität und wvp von der Raumtemperatur

Termine	Temp.	Messungen	wvp(%)	Kapazität ml/100 ml G.
2	21	10	60	3,35
3	22	6	63,5	3,20
2	23	12	64	3,70
3	24	10	67	3,70
2	25	6	63	4,20
2	26	10	60,5	4,8o

Aus Tabelle 2 ist eine Abhängigkeit der Muskelpumpenleistung (wvp) von der in der Praxis herrschenden Raumtemperatur nicht ersichtlich, während sich eine Erhöhung der Kapazität bei steigender Umgebungstemperatur erkennen läßt. Allerdings ist dabei zu beachten, daß bei gesunden Extremitäten beträchtliche Kapazitätsunterschiede je nach Geschlecht und Trainingszustand zu finden sind und deshalb eine Normierung der Kapazität fragwürdig erscheint. Außerdem liegen alle in Tabelle 2 angegebenen Werte der Kapazitätszunahme von 21 bis 26 Grad C. noch im Bereich $\bar{x} = \pm 2s$.

Zur Umwandlung der Manschettendruck-Volumen-Kurve in eine Venendruck-Volumen-Relation geben Kuiper und Brakkee der Einfachheit halber einen mittleren Korrekturfaktor g = 0,7 an. Da einerseits eine Anwendung der Methode für Praxisbedingungen angestrebt wird und dafür vernachlässigbare Fehler in Kauf genommen werden, soll andererseits jede Möglichkeit ausgeschöpft werden, die Genauigkeit der Methode zu verbessern. Deshalb wurde auf die vorgeschlagene Vereinfachung verzichtet und ein Eichdiagramm angefertigt, das eine Beziehung des Korrekturfaktors zum Oberschenkelumfang darstellt. Es ist nach einmaliger Erstellung dieses Diagramms für die plethysmographische Beurteilung eines Beines nur noch die Messung des Oberschenkelumfangs unterhalb der Druckmanschette vorzunehmen, um den exakten Korrekturfaktor zu erhalten.

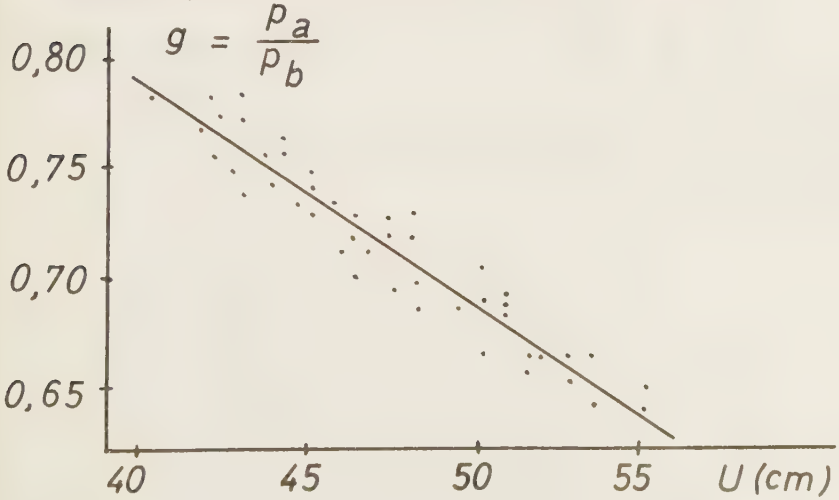

Abb. 6 Abhängigkeit des Faktors g vom Oberschenkelumfang

p_a = systol. RR (Oberarmmessung)

p_b = systol. Blutdruck nach plethysmog. Methode (Oberschenkel)

2. Ergebnisse an gesunden Extremitäten

statistische Methode:

Berechnung des Mittelwertes $\bar{x}$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}$$

Berechnung der Varianz s^2

$$s^2 = \frac{\text{Summe der Abw.-quadrate (SAQ)}}{n-1}$$

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} (x - \bar{x})^2}{n-1}$$

Berechnung der Standardabweichung s

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1} (x - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Im daraus berechneten Normbereich $N = \bar{x} \pm 2s$ liegen 95,5 % aller Einzelwerte, im Kontrollbereich $K = \bar{x} \pm s$ noch 69 %

Berechnung des Fehlerbereichs F (%)

$$F = \pm \frac{2n \sqrt{\frac{\sum_{i=1} (x - \bar{x})^2}{n-1}} \cdot 100}{\sum_{i=1}^{n} x_i}$$

Bei den gesunden Extremitäten ergab sich für die wvp-Werte eine Standardabweichung s = 4,42 und somit einen Normbereich von N = 63,5 ± 8,84 sowie einen Fehlerbereich F = 13,8 %. Die Häufigkeitsverteilung, grapisch dargestellt in Tabelle 3 und in Abbildung 7 unterstreicht die statistische Signifikanz der wvp-Werte. Abbildung 8 stellt die wvp-Werte in Abhängigkeit der Untersuchungstermine übersichtlich dar. Daraus läßt sich keine Abweichung der Werte nach oben oder unten innerhalb der zweijährigen Versuchsdauer erkennen. Das technische Material war somit während der gesamten Meßperiode zuverlässig.

Alle für die statistischen Berechnungen dieser Arbeit angegebenen Werte für die Kapazität verstehen sich in ml Volumenänderung pro 100 ml Gewebe, ausgehend vom Druck von 0 mm Hg beim in Herzhöhe gelagerten Bein bis zum individuellen hämostatischen Druck der Versuchspersonen. Die Angaben für den maximalen venösen Abfluß beziehen sich auf eine Volumenverminderung in ml pro 100 ml Gewebe pro Minute, gemessen am steilsten Kurvenverlauf in den ersten Sekunden nach plötzlichem Ablassen des Staus von 100 mm Hg in der Oberschenkelmanschette. Bei den gesunden Beinen ergab sich ein Fehlerbereich für die Kapazität von 47 % und für den maximalen venösen Abfluß einen von 50 %.

Tab. 3 Häufigkeitsverteilung der Beobachtungswerte an gesunden Extremitäten

wvp-Wert	Häufigkeit
bis 52	0
52-56	2
57-61	21
62-66	28
67-71	15
72-77	2
78- -	0

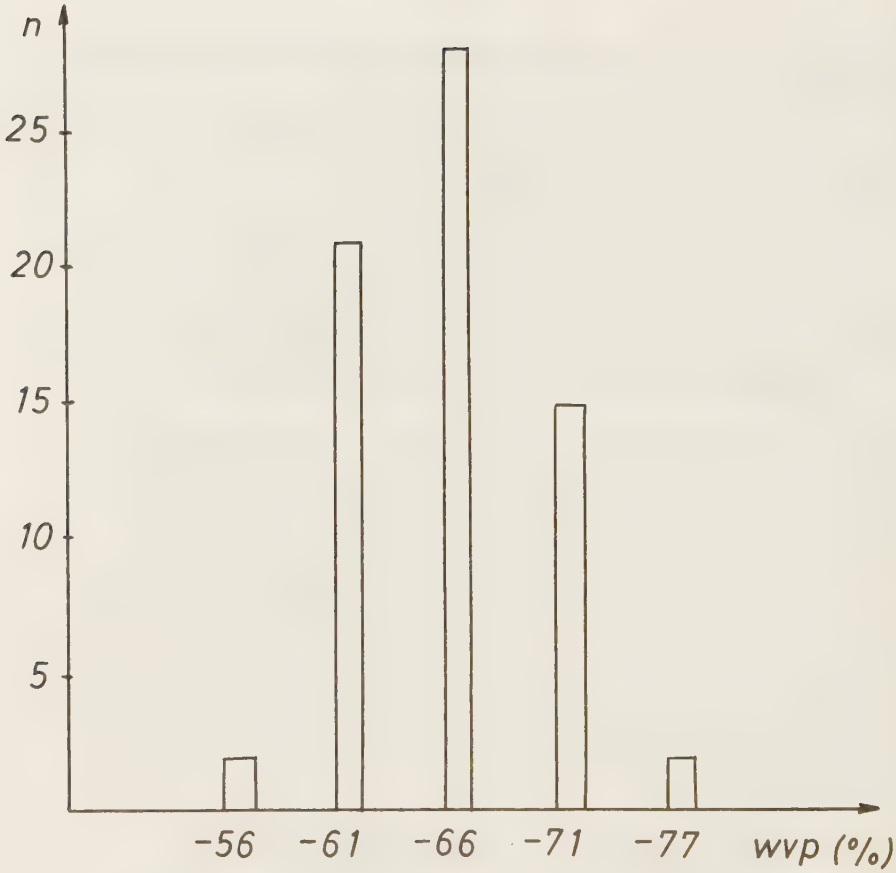

Abb. 7 Graphische Darstellung der Häufigkeitsverteilung von Beobachtungswerten an gesunden Extremitäten
untere Grenze: 54 (1 Wert)
obere Grenze: 72 (2 Werte)

Um die Genauigkeit der Methode zu überprüfen, wurden an 13 Personen in 27 Sitzungen 40 vergleichbare wvp-Wertepaare, 18 Kapazitätswertepaare und 10 für den maximalen venösen Abfluß gewonnen. Dabei ergab sich beim walking venous pressurefall eine durchschnittliche Abweichung von ± 3,5 %, für die Kapazitätsmessung eine Abweichung von ± 0,27 ml/100 ml Gewebe und eine Abweichung von ± 7,3 ml/100 ml Gewebe pro Minute für die passive venöse Drainage.

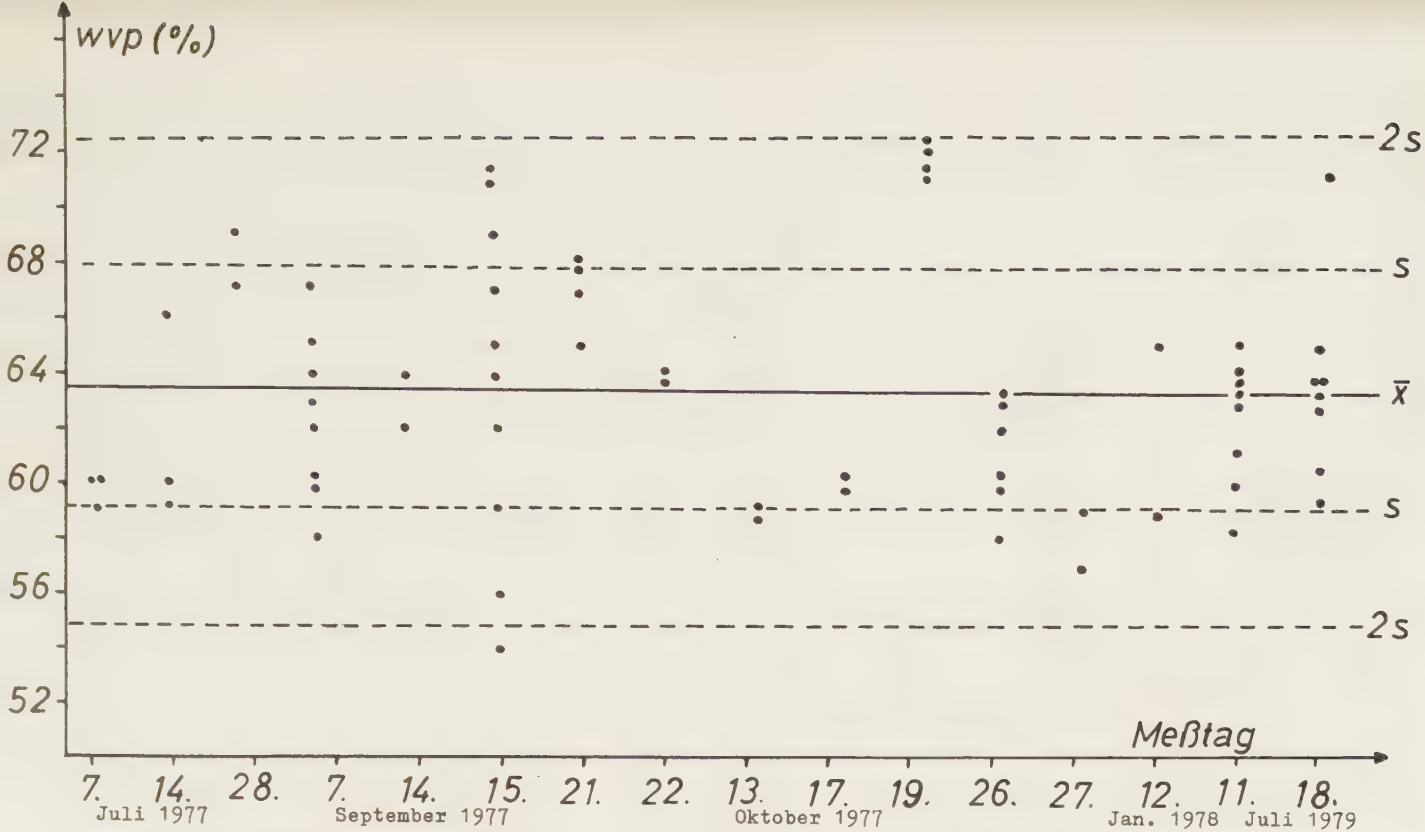

Abb. 8 strain-gauge-Plethysmographie:

Verteilung der Meßwerte für den walking venous pressurefall bei gesunden Extremitäten

$\bar{x}$ = Durchschnittswert; $\pm$ s = Kontrollbereich; $\pm$ 2s = Normbereich

Tab. 4 Über die Reproduzierbarkeit der Meßwerte aus der strain-gauge-Plethysmographie
Kapazität c (ml/100 ml Gewebe)
Muskelpumpenleistung wvp (%)
Maximal-venöser-Abfluß m (ml/100 ml Gewebe/Minute)
Kontrollbereich $K = \bar{x} \pm s$
Normbereich $N = \bar{x} \pm 2s$
Grenzbereich G geht über N hinaus

	Wertepaare	K	N	G
wvp	40	31	5	4
c	18	18	0	0
m	10	6	3	1

Aus tabelle 3 ergibt sich eine Reproduzierbarkeit der Werte für den walking venous pressurefall bei den Doppelversuchen entsprechend der statistischen Fehlerberechnung bei gesunden Extremitäten. Dieselbe Situation liegt bei den Meßwerten für den maximalen venösen Abfluß vor, mit dem Unterschied, daß der Fehlerbereich von 50 % die Aussagekraft der Methode über die passive venöse Drainage erheblich schmälert.

Bei der Auswertung der Kapazitätsmessungen fällt die Diskrepanz zwischen der statistischen Fehlerberechnung (F = 47 %) und der Reproduzierbarkeit bei den Doppelversuchen (F = 5,6 %) auf. Der scheinbare Widerspruch läßt sich mit den großen individuellen venösen Kapazitätsunterschieden der verschiedenen Probanden erklären. Abbildung 9 zeigt die Abhängigkeit der venösen Kapazität gesunder Personen vom Geschlecht, vom Alter und vom Trainingszustand (Sportler - Nichtsportler).

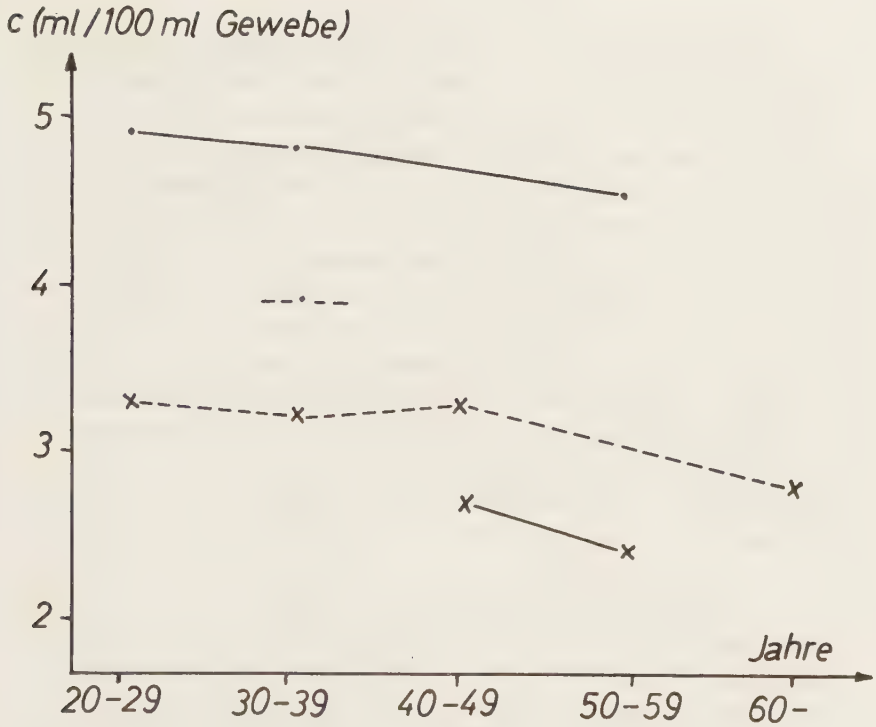

Abb. 9 Abhängigkeit der venösen Kapazität gesunder Personen von Alter, Geschlecht und vom Trainingszustand.
durchgezogene Linie: Männer
gestrichelte Linie: Frauen
· trainiert + untrainiert

Nach Gutmann ist die Genauigkeit der plethysmographischen Messungen für die venöse Kapazität und für den passiven Blutabfluß unabhängig vom Umfang der zu messenden Extremität, da der Analogrechner des Gerätes aus der Periquant-Reihe sofort die Volumenänderung in ml pro 100 ml Gewebe umrechnet (49,47). Während der Untersuchungen kam ein Proband (Nr. 53) zur Plethysmographie, der am linken Vorfuß am Morbus Bockenheim litt. Beide Beine des Patienten und der rechte Vorfuß waren unauffällig. Es gab keinen Anhalt für eine Varikose oder Thrombose. Lediglich an dorsum und an der planta pedis des linken Vorfußes zeigten sich große Venenkonvolute, die sich je nach Lage dieses Beines verschieden stark vorwölbten. Trotz normaler Kapazitäts- und Drainagewerte am linken Unterschenkel betrug die Kapazität, gemessen am linken Vorfuß

11,5 ml pro 100 ml Gewebe und für den maximalen venösen Abfluß wurden 110 ml/100 ml Gewebe pro Minute gemessen. Bei Extrapolation der Normalwerte für Kapazität und Drainage liegt das Wertepaar dieses Patienten genau auf der verlängerten Geraden der Durchschnittswerte der Gesunden (siehe Abbildung 11). Dies bedeutete entgegen der oben genannten Aussage eine Abhängigkeit der plethysmographischen Methode von lokalen Verhältnissen. Um diese Abhängigkeit zu klären, wurden bei 7 Personen an 14 Beinen zusätzliche Unterschenkelplethymogramme angefertigt. Es zeigten sich trotz verschiedener klinischer Befunde bei diesen Patienten keine lokale Abhängigkeit. Alle vergleichbaren Messungen lagen innerhalb des Normbereiches ($\bar{x} \pm 2s$). Es dürfte sich also bei der Beobachtung am Patienten Nr. 53 um eine seltene Ausnahme handeln. Es wird dennoch empfohlen, bei jedem Patienten auf lokale Anomalitäten zu achten.

Wie die statistische Auswertung der Meßergebnisse beweist, liefert die plethysmographische Methode von Kuiper und Brakkee (60) gleichbleibend zuverlässige Werte für den Druckabfall im Arbeitsversuch. Bei 11 Probanden wurden die plethysmographisch ermittelten walking venous pressure falls mit dem Absinken des Venendrucks bei der blutigen Druckmessung im Arbeitsversuch verglichen. Während die wvp-Messungen entsprechend dem klinischen Befund und durch Doppelmessungen bestätigt gleichmäßige, im Fehlerbereich liegende Werte lieferten, wissen die durch die blutige Druckmessung erhaltenen Werte deutliche Unterschiede auf. Die durch die blutige Methode erhaltenen Werte für das Absinken des Venendrucks lagen stets unter denen der walking venous pressurefalls. Die Ursachen dafür sind im kleinen Venenkaliber der punktierten Gefäße, in teilweise thrombosierten Nadeln(die zweite Messung der blutigen Methode war meist erheblich niedriger) oder im Anliegen der Kanüle an der Venenwand zu suchen.

Tab. 5 Abhängigkeit der Kapazitäts- und Drainagemessungen von der Lokalität der Meßstelle
V = Vorfuß; U = Unterschenkel
K = Kontrollbereich; N = Normbereich
Kapazität (ml/100 ml Gewebe)
venöse Drainage (ml/100 ml Gewebe/Minute)

Patient		Kapazität				Drainage			
		V	U	Diff.	Ber.	V	U	Diff.	Ber.
72	li	2,94	2,88	0,06	K	27	23	4	K
	re	2,58	2,55	0,03	K	20	15	5	K
73	li	2,13	2,13	0	K	35	30	5	K
	re	2,49	2,40	0,09	K	21	18	3	K
74	li	2,6	2,40	0,2	K	42	50	8	K
	re	2,6	2,6	0	K	40	35	5	K
75	li	3,12	3,25	0,03	K	35	33	2	K
	re	2,43	2,52	0,09	K	33	33	0	K
76	li	1,68	1,85	0,17	K	21	30	9	N
	re	1,43	1,50	0,07	K	15	30	15	N
77	li	3,0	3,09	0,09	K	45	40	5	K
	re	3,0	3,0	0	K	32	35	3	K
78	li	2,79	2,85	0,06	K	45	35	10	N
	re	2,76	2,76	0	K	45	36	9	N

Tab. 6 Vergleich der Plethysmographie mit der peripheren blutigen Druckmessung

Patient	li/re Bein	mit/ohne Stau	wvp (%)	Druckabfall (%)
74	li	o	36	*
	li	m	49	*
	re	o	53	28
	re	m	53	17
75	li	o	64	37
	li	m	64	27,5
	re	o	60	15
	re	m	63,5	*
76	li	o	58,5	*
	li	m	61,5	*
	re	o	65,5	23
	re	m	63,5	24
77	re	o	66,5	53
	re	m	67,5	44
78	li	o	62	18
	li	m	66	19
79	li	o	63	58
80	li	o	59	28
	li	m	59	19
	re	o	65	14
	re	m	65	22,5
81	li	o	66	42
	li	m	66	20,5
	re	o	63	*
	re	m	63	*
82	li	o	59	29
	li	m	55	43
	re	o	63	27
	re	m	61	10
83	li	o	63	*
	li	m	63	*
	re	o	36	37
	re	m	43	39
84	li	o	62	18
	li	m	63	28,5
	re	o	65	27
	re	m	65	47

* keinen geeigneten, d.h. genügend weiten Venenzugang gefunden

3. Ergebnisse bei Patienten mit Varikosis

Von den 53 varikösen Beinen konnten entsprechend dem klinischen Bild, wie auch an Hand des plethysmographischen Befundes 33 Extremitäten in die Gruppe der leichten Varikosis eingegliedert werden. Bei ihnen ließ sich keine pathologische Hämodynamik des venösen Rückstroms nachweisen. Der Durchschnitt von 62 wvp-Werten lag mit 61 %, ebenso der von 28 Drainagewerten mit 32,4 ml/100 ml Gewebe pro Minute etwas niedriger als die jeweiligen Mittelwerte bei gesunden Beinen. 38 Kapazitätsmessungen lagen mit ihrem Durchschnittswert von 4,12 ml/100 ml Gewebe etwas über dem der gesunden Extremitäten. Alle genannten Abweichungen bewegen sich noch innerhalb des Kontrollbereiches ($\bar{x} \pm s$), so daß bei der leichten Varikosis plethysmographisch keine signifikante Änderung gegenüber gesunden Beinen nachweisbar ist.

Anders ist es bei der schwerden Varikosis. Hier liegen die durchschnittlichen Kapazitätswerte ($\bar{x} = 4,57$) und die Drainagewerte ($\bar{x} = 41,3$) zwar nur etwas höher als bei Gesunden, die Berechnung des walking venous pressurefalls ergab aber einen deutlich niedrigeren Durchschnittswert von 42 %. Dieser liegt mit 13 % außerhalb des Normbereichs. Dabei ist zu beachten, daß es sich bei diesen untersuchten Fällen um fließende Übergänge handelt, mit Werten von annähernd Normal bis zu 27 %.

Durch Anwendung eines Tourniquets bei der Plethysmographie kann man noch eine Unterteilung der schweren Varikosis erzielen; und zwar in solche Extremitäten, bei denen das Anlegen eines Stauschlauchs eine erhebliche Steigerung der wvp-Werte bis zum Normalen, und jene, bei denen ein Stauschlauch keine oder nur eine geringe Besserung mit sich bringt. Damit läßt sich auf einfache Weise die hämodynamische Situation bei insuffizienten Vv. perforantes bzw. bei insuffizienter Vena-saphena-magna-Mündung quantitativ ermitteln. Man kann mit Tourniquetmessungen bei Besserung der Pumpleistung die Schadstelle des epifascialen Venensystems festlegen. Wird keine Verbesserung erzielt, liegt eine Insuffizienz der tiefen Venen vor. (100)

4. Ergebnisse bei Zustand nach Thrombose

Bei den 14 untersuchten Extremitäten im akuten Zustand nach Thrombose wurden folgende Meßergebnisse registriert:

Kapazität: 3,2 ml/100 ml Gewebe
Drainage: 18,0 ml/100 ml Gewebe pro Minute
wvp: 41,8 %

Auffällig ist hier der sehr niedrige Durchschnittswert für die venöse Drainage, der sich trotz der hohen Fehlergrenze von über 50 % noch außerhalb des Normbereichs bewegt. Zwangsläufig ergibt sich auch hier ein signifikant niedriger wvp-Wert, vergleichbar mit dem bei schwerer Varikosis, während der Wert für die Kapazität nur wenig unterhalb des Wertes bei Gesunden liegt.

Bei den 12 Beinen im späten postthrombotischen Zustand lag die Kapazität mit 5,2 ml/100 ml Gewebe deutlich höher als bei den Gesunden, ebenso der Wert für die venöse Drainage (m = 43,25 ml/100 ml Gewebe pro Minute). Trotz dieser Kapazitäts- und Drainageerhöhung, die für eine erfolgte Rekanalisation der verschlossenen Venenabschnitte sprechen, liegt der durchschnittliche Wert für die Muskelpumpleistung nur bei 39,9 % und damit niedriger als der bei schwerer Varikosis und frühem Zustand nach Thrombose. Tourniquet-Versuche lassen Übergänge von kompensierten postthrombotischen Zuständen mit subnormalen Werten und Minderung nach Anlegen eines Stauschlauches bis zu dekompensierten Zuständen mit von vornherein stark verminderten wvp-Werten erkennen. Im Gegensatz zur schweren primären Varikosis lassen sich bei den sekundären Varizen als Folge von Thrombosen in keinem Fall eine Verbesserung durch Anlegen eines Stauschlauches erzielen.

5. Ergebnisse bei Lymphödem und arterieller Verschlußerkrankung

Die Plethysmographie bei lympödematösen Beinen unterschied sich mit ihrem Meßergebnis nicht wsentlich von der bei Gesunden.
Alle Werte lagen innerhalb des Kontrollbereichs.
Bei Patienten mit arteriellen Verschlüssen zeigten sich neben mäßig erniedrigter Kapazität auch stark verminderte Muskelpumpenleistung. Versuche mit Touriquets brachten beim Lymphödem und bei AVE wie bei Gesunden keine Änderung.

Tab. 7 Zusammenfassung der Durchschnittswerte
Muskelpumpenleistung wvp (%)
Kapazität c (ml/100 ml Gewebe)
Maximal-venöser-Abfluß m (ml/100 ml Gewebe/Minute)
Anzahl der Plethysmogramme n

Befund	n	wvp	n	c	n	m
Gesunde	68	63 ± 8,8	36	3,9 ± 1,84	30	34,8 ± 17,5
leichte Varikose	62	61 ± 8,4	38	4,1 ± 1,94	28	32,4 ± 16,3
schwere Varikose	31	42 ± 5,8	23	4,5 ± 2,14	14	41,3 ± 20,8
akute Thromb.	28	41 ± 5,8	17	3,2 ± 1,50	16	18 ± 9,0
post-thromb. Zustand	22	39 ± 5,5	15	5,2 ± 2,40	12	43,2 ± 21,7
Ödem	13	65 ± 8,8	10	3,5 ± 1,65	8	27,4 ± 13,8
AVE	6	49 ± 6,8	6	3,3 ± 1,50		

Trotz des großen Fehlerbereichs bei der statistischen Auswertung der Kapazität (F_c = 47 %) und des maximalen venösen Abflusses (F_m = 50 %) läßt sich bei der Eintragung beider Teilfunktionen in ein Diagramm eine Abhängigkeit feststellen. Je größer die Kapazität der Venen einer Extremität ist, desto schneller erfolgt der passive venöse Abfluß in den ersten Sekunden nach Lösung des Manschettenstaus. In Abbildung 10 ist diese Abhängigkeit graphisch dargestellt. Abbildung 11 zeigt eine unterschiedliche Abhängigkeit von Kapazität und venöser Drainage bei gesunden Personen und bei Patienten mit relativ frischer Thrombose. Bei diesen ist die Neigung der Durchschnittslinie steiler als die bei Gesunden, d.h. daß bei vergleichbarer Kapazität eine geringere Drainagefähigkeit der Venen bei den Patienten mit Thrombose vorliegt. Umgekehrte Verhältnisse sind bei der schweren Varikosis und beim Postthrombotischen Syndrom zu finden.

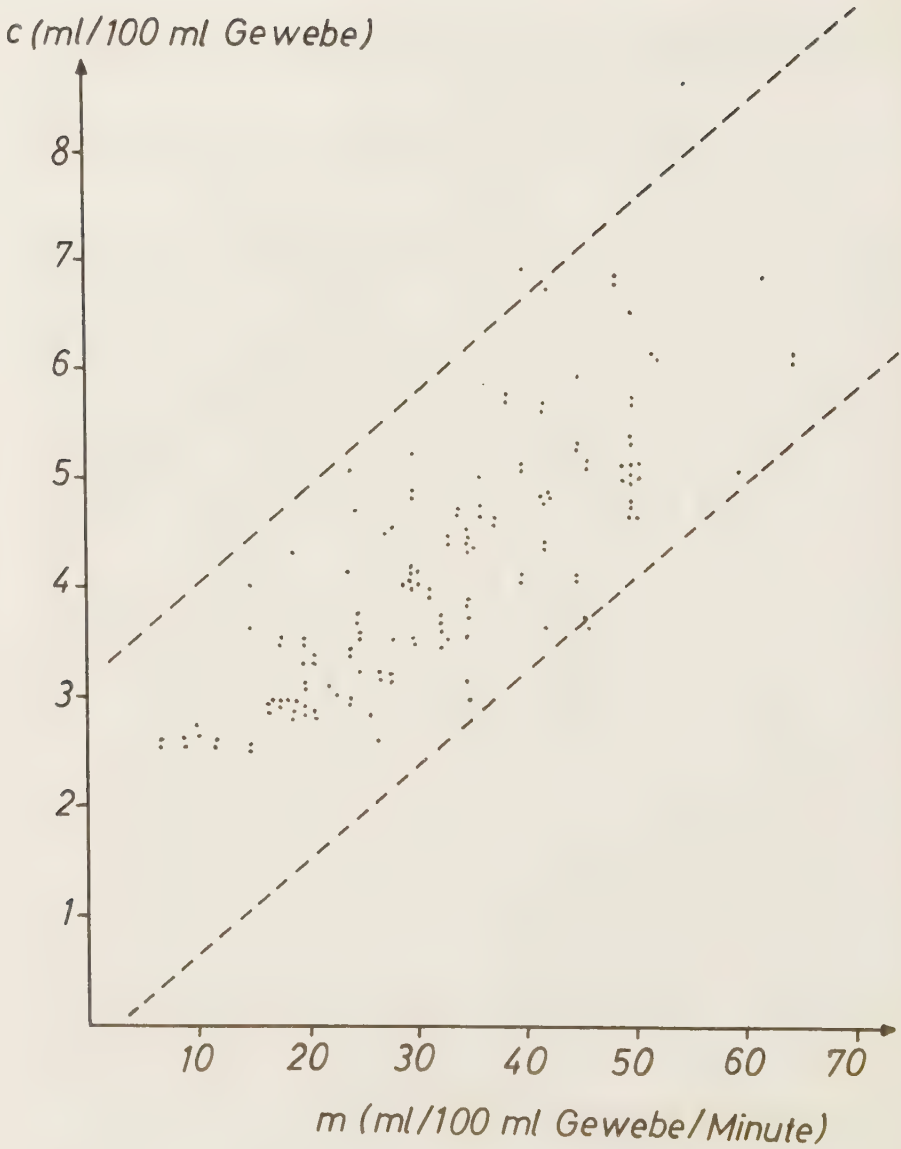

Abb. 10 Abhängigkeit des maximalen venösen Abflusses von der Kapazität (Gesunde und Kranke zusammen)
Abszisse: max.-ven.-Abfl. m (ml/100 ml Gewebe/Minute)
Ordinate: Kapazität c (ml/100 ml Gewebe)
Korrelationsfaktor r = 0,4

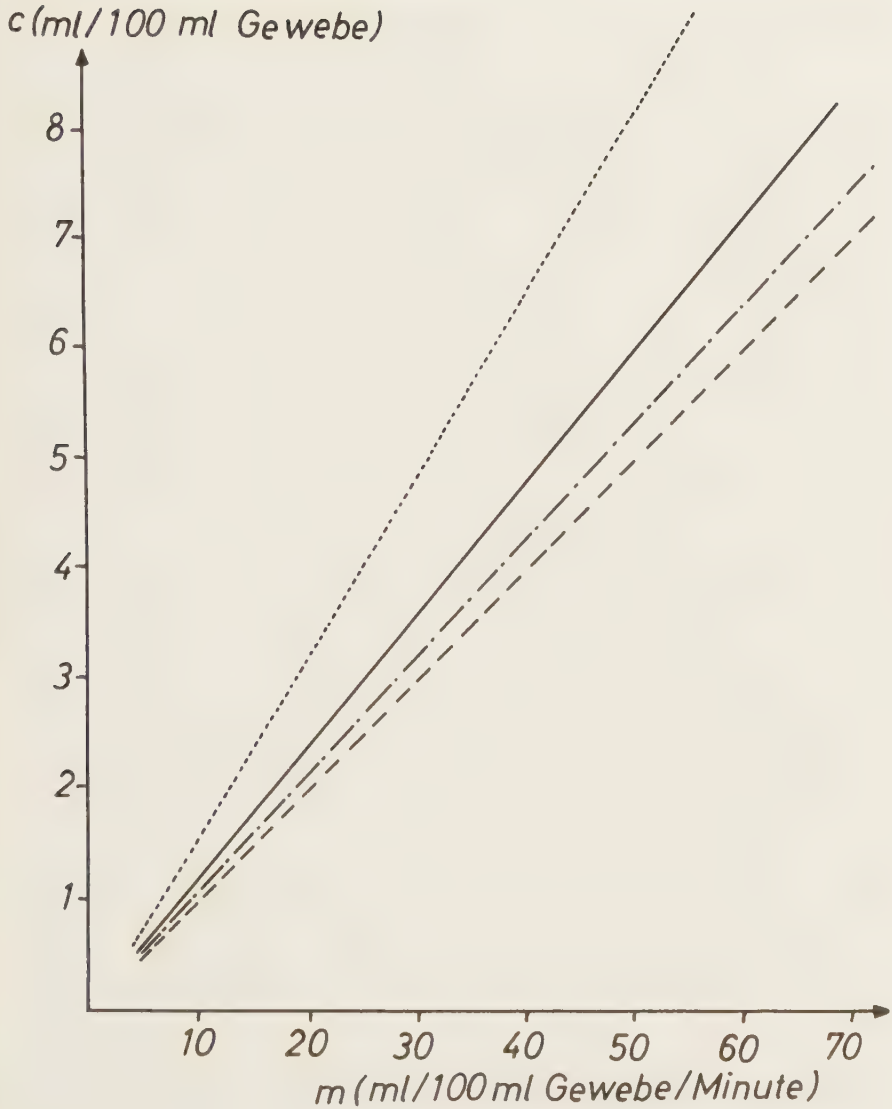

Abb. 11 Abhängigkeit des maximalen venösen Abflusses von der Kapazität (Durchschnittsgerade versch. Fälle)

——— Gesunde

— — — — schwere Varikosis

---------- früher Z. n. Thrombose

—·—·—·— später Z. n. Thrombose

Abszisse und Ordinate wie in Abb. 10

Im Korrelationsdiagramm ergibt sich bei einem Koeffizienten r = 0 kein direkter Zusammenhang von Kapazität und Muskelpumpenleistung. Dies steht im Einklang mit den statistischen Berechnungen der Normbereiche beider Größen. Berücksichtigt man Tourniquet-Versuche, so gelingt im Diagramm eine räumliche Trennung der Werte für Gesunde, Varizenträger, Thrombosepatienten und solchen mit postthrombotischem Syndrom. Besonders die beiden letzten überlappen mit ihren Bereichen stärker, da eine exakte Trennung dieser Patienten nicht immer möglich ist.

Berücksichtigt man bei Tourniquet-Versuchen die unterschiedlichen wvp-Werte mit und ohne Stauschlauch und vergleicht sie mit den ursprünglichen Muskelpumpenleistungen im normalen Plethysmogramm, so zeigt sich, daß bei Varikosis der Wert, gewonnen mit Anlegen eines Tourniquets, umso höher gegenüber dem Wert ohne Stau liegt, je ausgeprägter die Venenklappeninsuffizienz speziell die der Vv. perforantes bzw. der Vena-saphena-magna-Mündung ist. Hier ergibt sich ein niedriger Wert für die Leistung der Muskelpumpe, der plethysmographisch ohne Anlegen eines Stauschlauches ermittelt wird.

Bei den Patienten mit durchgemachter Thrombose lassen sich auch hier Wertebereiche für den frühen und späten Zustand nach Thrombose ermitteln, die jedoch stark überlappen. Beim frühen Zustand nach Thrombose kann man die Patienten mit kompensierten und dekompensierten Venenverschluß mit Hilfe von Tourniquet-Versuchen unterscheiden. Bei diesen ergeben sich bei den von vorneherein niedrigen wvp-Werten durch Anlegen eines Stauschlauches keine Veränderungen, während bei jenen das meist unauffällige Ergebnis der normalen wvp-Messung durch den Stau im epifaszialen Venensystem erheblich verschlechtert wird. Im späten postthrombotischen Zustand unterscheidet man dekompensierte und teilweise dekompensierte hämodynamisch pathologische Veränderungen der Muskelpumpenleistung (Abb. 12).

VI DISKUSSION

Unter den modernen apparativen Verfahren zur Diagnose und Therapiekontrolle venöser Erkrankungen zählt die Plethysmographie zu den ältesten, aber auch zu den umstrittensten Methoden. In der Praxis stützt sich die Diagnostik hauptsächlich auf die phlebologische Untersuchung, die periphere blutige Venendruckmessung, die Phlebographie und im geringeren Ausmaß auf das Ultraschall-Doppler-Verfahren. Zur Ergänzung der Diagnostik kann in Zweifelsfällen auf die Plethysmographie zurückgegriffen werden, meist beschränkt auf Kapazitäts- und Drainageuntersuchungen des venösen Systems. Der Grund für diesen zögernden Einsatz dieser apparativ hoch empfindlichen und genauen Methode (49, 46, 48) liegt in der Unsicherheit gegenüber der Vielfalt angebotener Verfahren mit ihren verschiedenen Normwerten (27, 4, 84, 39, 85, 6, 10, 57, 43, 53, 11, 86). Dabei bietet sich die Plethysmographie als einziges unblutiges quantitatives Verfahren zur Beurteilung der venösen Hämodynamik an. Während Allan (2), Kappert (57) und Riekert (82) mit luftgefüllten Plethysmographen, Thulesius (93) mit Wasserplethysmographen und Leu (62) mit strain-gauges die Leistung der Muskelpumpe lediglich durch Ausmaß und Geschwindigkeit der Venenentleerung nach aktiver Wadenmuskeltätigkeit beurteilen, bieten Kuiper und Brakkee (60) mit ihrer Methode eine unblutige Venendruckmessung an, die vielfach als ein "verhältnismäßig kompliziertes Verfahren" angesehen wird (36).

Ein zentrales Problem der Plethysmographie ist die Standardisierung der Meßbedingungen. Für die Registrierung der Pumpleistung der Wadenmuskulatur im Arbeitsversuch werden verschiedene definierte Muskelaktivitäten vorgeschlagen. Thulesius (93) und Norgren (76) lassen ihre Patienten Kniebeugen ausführen. Nach den Ergebnissen von Rudofsky (84) scheint diese Arbeitsleistung jedoch unzweckmäßig, da durch die Erhöhung des Veneninnendruckes bei abgewinkeltem Knie der Muskelpumpe ein Widerstand entgegengesetzt wird und dadurch eine maximale Ausnützung der Wadenpumpe nicht zu erwarten ist. Ebensowenig wird durch die Methode nach Leu (62) mit fünf Zehenständen ein konstantes niedriges Druckniveau erzielt, wie aus dessen Versuchsplethysmogrammen ersichtlich ist (64). Die von Kuiper (60) vorgeschlagenen 40 Zehenstände mit einer Frequenz von 40 pro Minute werden bestenfalls von den

Gesunden exakt ausgeführt. Es zeigt sich, daß bei der Frequenz von 40 Zehenständen pro Minute bei den meisten Patienten schon mit 20 Hüben ein konstantes niedriges Niveau erreicht war, das auch bei weiterer Arbeit nicht mehr weiter gesenkt werden konnte. Wichtiger als die konsequente Einhaltung der definierten Arbeitsleistung ist das Erreichen eines gleichmäßig niederen Volumenniveaus im Plethysmogramm über mindestens 10 Zehenstände hinweg. Das ist sehr leicht am Schreiber abzulesen. Ein weiteres Absinken darf auch bei fortgesetzter Betätigung der Wadenmukelpumpe nicht mehr erfolgen. Eine den wissenschaftlichen Fragestellungen gerechter werdende Standardisierung der Muskelpumpenarbeit wird von Rudofsky (84) angeboten. Dabei wird dem Patienten im Liegen eine mit dem Ergometergerät zu messende Leistung abverlangt. Um die Volumenminderungen exakt zu erfassen, muß mit einer Druckmanschette ein bestimmtes Anfangsvolumen angestaut werden. Dieses Verfahren erscheint für die Praxis zu aufwendig und entspricht auch nicht den geforderten physiologischen Bedingungen im Stehen. Eine Umrechnung in hämostatische Druckverhältnisse wäre dann wiederum zu kompliziert; denn es sollen der Vereinheitlichung wegen alle Zahlenangaben für die venösen Teilfunktionen auf den Venendruck im Stehen (svp) bezogen werden.

Für die Zuverlässigkeit der unblutigen Druckmessung ist die konstante Relation zwischen dem Druck-Volumen-Verhältnis und der Maximal erreichbaren Volumen- bzw. Druckminderung durch eine Arbeitsleistung bei verschiedenen Versuchsbedingungen von entscheidender Bedeutung. Die wichtigste variable Größe ist für diese Methode die Raumtemperatur. Es gilt zu klären, wie sich die Druck-Volumen-Kurve in Höhe und Neigung bei verschiedenen Temperaturen ändert und wie sich dazu die Förderleistung der Muskelpumpe verhält. Kuiper und Brakkee (60) führten ihre Messungen in einem temperaturkonstanten Raum durch und errechneten dabei an Hand von 32 Fällen einen Fehlerbereich für den wvp von ± 7 mm Hg. Für diese Arbeit wurde aus praktischen Gründen auf die Temperaturkonstanz verzichtet und bei Raumtemperaturen von 21 bis 26 Grad Celsius plethysmographiert. Es ergab sich dabei für den Druckabfall bei 36 Extremitäten in 66 Messungen ein Fehlerbereich von ± 9 mm Hg. Der relativ geringe Unterschied von umgerechnet 3 % berechtigt die für die Praxis wichtige Vereinfachung der Methode. Thron und Mitarbeiter (92) bestätigten mit ihren Versuchen zur Abhängigkeit der Druck-

Volumen-Relation von Raum- und Wassertemperaturen (sie verwendeten Wasserplethysmographen) dieses Ergebnis. Danach beeinflussen lokale Temperaturschwankungen das kapilläre Gefäßsystem wesentlich stärker als Änderungen der Raumtemperatur.

Einflüsse von Lageveränderungen oder von erhöhten Muskelaktivitäten vor der Messung auf das Verhältnis von Druck und Volumen in den Venen konnten von Kuiper und Bevegard nicht nachgewiesen werden (60, 14).

Zur Ermittlung des walking venous pressurefall werden die Messungen verschiedener venöser Teilfunktionen herangezogen. Die Fähigkeit zur Ausweitung der Gefäße, von der hauptsächlich die Venenkapazität abhängt, wird mit der Druck-Volumen-Relation erfaßt. Der statistisch ermittelte Fehlerbereich umfaßt die methodisch bedingten Meßfehler und die individuellen Kapazitätsunterschiede. Barbey und Adam (7) konnten einen deutlichen Unterschied dieser beiden Größen feststellen. Sie lagen in der Größenordnung von 5 % (Meßfehler) und 24 % (individuelle Unterschiede). Auch in dieser Arbeit lagen die Fehlerbereiche in ähnlichen Verhältnissen zueinander. Für den Meßfehler wurde bei Doppelmessungen ein Fehlerbereich von 5,6 % und für die individuelle Variabilität ein Bereich von 47 % ermittelt. Diese individuelle Streuung beeinflußt in geringerem Ausmaß auch die Berechnung des wvp. Doppelmessungen des wvp lagen mit einem Fehlerbereich von 5,5 % unter dem des Gesamtkollektivs, das einen Fehlerbereich von 13,8 % aufwies. Während Barbey und Adam (7) keine sicheren geschlechtsabhängigen Kapazitätsunterschiede feststellen konnten, zeigte sich hier ein signifikanter deutlicher Kapazitätsunterschied, sowohl beim Vergleich der gesunden Männer und Frauen, wie auch jeweils bei beiden Geschlechtern bei Berücksichtigung des Trainingszustandes. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit später veröffentlichten Arbeiten (9,27).

Die individuelle Variabilität bedeutet für den Versuch, die plethysmographisch ermittelten Werte der venösen Teilfunktionen zu normieren, den neuralgischen Punkt. Bei Fehlerbereichen, die die individuellen Unterschiede berücksichtigen, kann für die Kapazität nur ein Kollektiv beurteilt werden, nicht aber die einzelne Person. Der oft erwähnte Einwand, Ödeme würden die plethysmographischen Messungen beeinflussen, werden durch die Untersuchungsergebnisse an Patienten mit starken chronischen Lymphödemen entkräftigt. Die Werte dieser Gruppe unterschieden sich nicht von denen der Gesunden. Die kapillare Filtration

wirkt sich als zusätzliches Volumen erst nach längerer Okklusion von über 5 bis 10 Minuten aus (84,33). Zur Erstellung der Druck-Volumen-Kurve wurden die Manschettendrücke stets unter fünf Minuten aufrechterhalten. Rudofsky (84) verzichtete auf die Erstellung einer durch stufenweise Staudruckerhöhung gewonnenen Druck-Volumen-Kurve mit dem Hinweis auf die schlechte Reproduzierbarkeit der Kapazitäten im niedrigen Druckbereich, sowie wegen der Annahme, daß die durch Manschettendruck hervorgerufenen Volumenänderungen nicht mit dem Venentonus in Bezug gesetzt werden können. Abgesehen davon, daß von anderen Autoren (78, 7, 9, 37, 39, 82), wie auch in dieser Arbeit bei Doppelversuchen deutlich bessere Reproduzierbarkeiten erzielt werden, konnte Kuiper (60) im direkten Vergleich der blutig und unblutig festgestellten Venendrücke einen eindeutigen Zusammenhang von Manschettendruck und Veneninnendruck herstellen und damit die Volumenerhöhung zum jeweils herrschenden Manschettendruck in Bezug setzen. Inwieweit die von Sharpey-Schafer (89) beschriebenen psychischen Einflüsse die Druck-Volumen-Relation beeinflussen, konnte mit dieser Arbeit nicht festgestellt werden. Dazu bedarf es groß angelegter Versuchsreihen, die den Rahmen der Aufgabenstellung sprengen würde.

Wie aus Tabelle 8 ersichtlich, variieren die von den verschiedenen Autoren angegebenen Venenkapazitäten zwischen 1,9 ± 0,2 (85) und 5,0 ± 1,0 (34). Dieser neue Fehlerbereich liegt ausserhalb des in dieser Arbeit berechneten Normbereichs. Es kommt also zum jeweilig methodischen Fehler und zur individuellen Variation noch der Unterschied der nicht einheitlichen Versuchsbedingungen hinzu. Bei vergleichbaren Methoden ist dieser Unterschied allerdings geringer.

Die Leistungsfähigkeit der Muskelpumpe wird im Stehen beurteilt. Da die hämostatischen Drücke in den unterhalb der Meßstelle liegenden Vorfußvenen je nach Lage des zu Untersuchenden schwanken, wäre es nur sinnvoll, auch die Kapazitäten beim standing venous pressure anzugeben. Nach den Ergebnissen von Barnes und Hallböök (10, 53) ist zu schließen, daß, abhängig vom Ort der Untersuchung nicht vergleichbare Kapazitäten gemessen werden. Die Befunde dieser Arbeit, sowie die Ausführungen von Gutmann (48) widerlegen diesen Schluß.

Die statistischen Berechnungen des maximalen venösen Abstroms

ergeben, im Gegensatz zur Kapazität, keine signifikante individuelle Streuung. Jedoch ist hier der Geräte- und meßtechnische Fehler mit 50 % so groß, daß eventuell bestehende individuelle Unterschiede nicht erfaßt werden können. Untersuchungen hierfür konnten in der Fachliteratur nicht gefunden werden. Es werden von verschiedenen Autoren Fehlerbereiche von 14 % (85) bis über 50 % (43) angegeben. Wegen der großen Streuung der angegebenen Durchschnittswerte von 14,2 (57) bis 145 ml/100 ml Gewebe pro Minute (85), muß die Aussagekraft der Werte für diese venöse Teilfunktion sehr kritisch betrachtet werden.

Es besteht eine statistisch gesicherte Korrelation zwischen Kapazität und venöser Drainage, wie aus Abb. 11 ersichtlich ist. Ehringer und Mitarbeiter (35) fanden einen signifikanten Unterschied in dieser Relation bei Gesunden und bei den Patienten mit Beinvenenthrombosen. Rudofsky (84) fand entgegengesetzte Verhältnisse bei Varizenträgern. Alle beschriebenen Relationen finden sich in vergleichbarer Weise auch in dieser Arbeit (siehe Abb. 11). Es wurde zusätzlich noch der frühe Zustand nach Thrombose vom späten Zustand (postthrombotisches Syndrom) unterschieden. Beim Spätsyndrom wird trotz der sekundären Varikosis keine so große Abweichung von der Normalgeraden erzielt wie bei den primären Varizen. Als Grund kann die Minderung der Elastizität der tiefen Venen nach der Rekanalisation vermutet werden (84).

Für die plethysmographische Beurteilung der Muskelpumpenleistung ist der statistisch errechnete Fehlerbereich von 13,8 % so günstig, daß jede einzelne Messung mit Sicherheit diagnostisch verwertet werden kann. Zu gleichen Resultaten kommen auch Kuiper und Brakkee (60), wenngleich diese jedoch für die statistische Auswertung wenig Zahlenmaterial liefern. Bisher konnte bei Untersuchungen am stehenden Patienten nachgewiesen werden, daß die gemessene Volumenänderung der durch die Wadenmuskelpumpe abtransportierten Blutmenge entspricht (75, 76, 84). Kuiper stellte an 32 untersuchten gesunden Extremitäten fest, daß dieses Volumen auch mit dem blutig gemessenen Venendruck in eine enge Beziehung gesetzt werden kann. Das konnte auch von Rudofsky (84) bestätigt werden. Bei den in dieser Arbeit durchgeführten Vergleichsmessungen an 14 gesunden Beinen lieferte die unblutige Methode stets im Fehlerbereich liegende Normalwerte, während die blutige periphere Druckmessung unterschiedliche, nicht miteindander vergleich-

bare Ergebnisse brachte (siehe Tabelle 6). Dies zeigt die erhebliche Unsicherheit in der Bewertung bzw. Normierung der blutigen Methode. May (70) bezeichnet die periphere Druckmessung als eine "unbestechliche und objektive Registriermethode" und gibt als Normalwert einen Druckabfall von etwa 66 % an. Die charakteristische Druckminderung beim Postthrombotischen Syndrom betrug ca. 40 %, bei schwerer Varikose 30 %. Das entspricht in etwa den mit der unblutigen Methode gewonnenen Durchschnittswerten in dieser Arbeit. Tabelle 8 zeigt die bisher veröffentlichten plethysmographisch gewonnenen Werte der venösen Teilfunktionen bei Gesunden.

Bisher wurde von Varizenpatienten nur wenig statistisches Zahlenmaterial aus Venenverschlußplethysmographien veröffentlicht. Aschberg (4) und Barnes (11) zeigen, entsprechend dieser Arbeit, daß sich die Werte der primären leichteren Varikosis nur sehr geringfügig von denen des Normalkollektivs unterscheiden. Für die schwere Varikosis erhielten alle Untersucher größere Kapazitätswerte und zwar in vergleichbaren Verhältnissen (Tabelle 9) Bei den Drainagewerten differieren die Abweichungen so erheblich, daß diese venöse Teilfunktion für Varikosepatienten plethysmographisch kaum diagnostisch verwertet werden kann. Typischerweise ergibt sich bei allen Untersuchungen eine Erhöhung der venösen Drainagefähigkeit von 120 % (4, 85, 86, eigene Werte) bis zu 400 % (57) über den Normalwerten. Diese Verbesserung der Drainage wirkt sich jedoch nur passiv, d.h. bei Fußhochlagerung aus. Es liegt bei der schweren Varikosis dagegen eine Verschlechterung der aktiven Drainage vor (60, 76, 62, eigene Werte), so daß während des Arbeitsversuchs weniger Blut abgepumpt wird. Für die Diagnose und Beurteilung der hämodynamischen Situation einer Varikosis sind daher weniger Kapazität und passive venöse Drainage, als vielmehr die aktive Leistung der Muskelpumpe von Bedeutung. Vergleichbare Untersuchungen hierzu liegen nur von Norgren und Mitarbeiter (76) vor. Bei 29 Varizenträgern erhielten sie mit 1,1 $\pm$ 0,4 ml/100 ml Gewebe gegenüber 1,5 $\pm$ 0,5 bei Gesunden eine um 30 % veringerte aktive Entleerung. Eine in dieser Arbeit gefundene durchschnittliche wvp-Erniedrigung von 34 % bei schwerer Varikose bestätigt dieses Ergebnis.

Tab. 8 Vergleich der bisher an Gesunden gewonnenen plethysmographischen Werte für die venösen Teilfunktionen Kapazität, Drainage und Muskelpumpenleistung.

Muskelpumpenleistung wvp (%)
Kapazität c (ml/100 ml Gewebe)
Drainage m (ml/100 ml Gewebe pro Minute)

Autor	Methode	wvp	c	m
Barbey (6)	Luftgef. Pleth. p = 80 mm Hg		3,52±0,55	66,1±17,6
Kappert (57)	Luftgef. Pleth. dist. U.-sch. p = 80-100 mm Hg			14,2
Eirickson (37)	Wasserpleth. Wade, p = 80		4,2	
Dahn (27)	Wasserpleth. p = 70 mm Hg		4,5±0,7 (Männer) 3,9±0,7 (Frauen)	
Sakaguchi (85)	Luftgef. Pleth. dist. U.-sch. p = 80 mm Hg		1,9±0,9	145±20
Sakaguchi (86)	strain-gauge dist. U.-sch. p = 80 mm Hg		2,2±0,6	87±14
Barnes (10)	strain-gauge Wade, p = 50			41±11
Hallböök (53)	strain-gauge dist.-U.-sch. p = 50 mm Hg		3,0±1,5	67± 14,9
Aschberg (4)	Luftgef. Pleth. Wade, p = 60		2,4±0,9	152±52
Ehringer (34)	Wasserpleth. Wade, p = 75		5,0±1,0	62,7±20,3
Ehringer (34)	strain-gauge Kipptisch			34,2±9,2
Großmann (43)	Luftgef. Pleth. Usch., p = 50			60±28,6
Barnes (11)	wie (10)			38±7
Rudofsky (83)	strain-gauge		3,5±0,5	66±17,6
Kuiper (60)	strain-gauge	ca. 70		
eigene Werte	strain-gauge Vorfuß, p = svp (wie 60)	63,5±8,8	3,9±1,9	34,8±17,4

Tab. 9 Plethysmographische Untersuchungen von Patienten mit schwerer Varikosis. Die Methoden der Untersucher sind in Tabelle 8 ersichtlich.
Abweichung A (%)
Muskelpumpenleistung wvp (%)
Kapazität c (ml/100 ml Gewebe)
Drainage m (ml/100 ml Gewebe pro Minute)

Autor	wvp	A	c	A	m	A
Ehringer (34)					54,5	160
Eirickson (37)			6,4	115		
Sakaguchi (85)					246	170
Kappert (57)					56	400
Aschberg (4)			2,7	112	180	120
Sakaguchi (86)			2,4	114	110	125
eigene Werte	42	66	4,6	116	41	120

Die Plethysmographie zur Diagnose der Beinvenenthrombosen wurde besonders von skandinavischen Autoren angewandt (27, 53, 52). Als Kriterien für die gestörte hämodynamische Funktion stellten sie besonders die Kapazität und den passiven venösen Abstrom heraus. Tatsächlich weichen bei keiner anderen Beinvenenerkrankung die Werte für diese venöse Teilfunktion so stark von den Gesunden ab, wie bei der akuten tiefen Beinvenenthrombose. Besonders auffällig ist die Verminderung des passiven venösen Abstroms bei Beinhochlagerung (35). Nach den eigenen Ergebnissen ist dieser Parameter wegen des großen Fehlerbereichs von 50 % nur für die tiefen akuten Thrombosen diagnostisch verwertbar, da die Drainagewerte bei diesem Krankheitsbild außerhalb des 2s-Bereiches lagen. Bei den Kapazitätsmessungen waren die Abweichungen der Meßwerte bei Patienten mit tiefer Venenthrombose von den bei Gesunden erhaltenen Werte wesentlich geringer. Wegen der großen individuellen Streuung kann der Kapazitätswert bei der tiefen akuten Beinvenenthrombose daher durchaus noch im Normbereich liegen. Eine Verminderung dieses Parameters ist im Einzelfall auch hier diagnostisch beschränkt verwertbar.

Erschwert wird die Diagnose zudem noch bei einer nicht seltenen präexistenten Varikose oder beim Übergang vom frühen in den späten Zustand nach Thrombose durch die Bildung von Kollateralen oder sekundären Varizen. Nach Ehringer (36) nehmen zwischen dem dritten und dem sechsten Monat nach Eintritt der akuten Venenthrombose die Venenkapazität und der passive venöse Blutabstrom wieder rasch zu, so daß ein Nachweis der erfolgten Thrombose plethysmographisch an Hand dieser Parameter nicht mehr geführt werden kann. Anders bei der plethysmographischen Beurteilung der Muskelpumpenfunktion. Es liegen hierfür allerdings keine vergleichbaren Zahlenwerte in der Literatur vor. Die eigenen Untersuchungen ergaben, daß im frühen Zustand nach Thrombose eine Minderung der Muskelpumpenwirksamkeit von durchschnittlich 63,5 auf 42 % erfolgte. Im weiteren Verlauf des Krankheitsbildes zeigte sich keine Besserung. Der Durchschnitt der Werte sank im Gegensatz zur passiven Drainage noch auf 39 % ab, ein Zeichen der sich ausbildenden sekundären Varikosis mit der damit verbundenen zunehmenden Venenklappeninsuffizienz.

Tab. 10 Plethysmographische Untersuchungen von Patienten im frühen Zustand nach Thrombose. Die Methoden der Untersucher sind in Tab. 8, Abkürzungen und Definitionen sind in Tab. 9 ersichtlich.

Autor	wvp	A	c	A	m	A
Eirickson (37)			3,2	76		
Dahn (27)			3,1	72		
Sakaguchi (85)					70	48
Sakaguchi (86)			1,1	53	32	37
Hallböök (53)			1,6	54	24	36
Aschberg (4)			2,0	83	85	56
Ehringer (34)			3,1	62	17	52
Großmann (43)					60	100
Barnes (11)					12	32
Rudofsky (83)			2,5	70	41	62
eigene Werte	41,8	66	3,2	81	18	53

Tab. 11 Plethysmographische Untersuchungen von Patienten mit Postthrombotischem Syndrom. Die Methoden der Untersucher sind in Tab. 8, Abkürzungen und Definitionen sind in Tab. 9 ersichtlich.

Autor	wvp	A	c	A	m	A
Dehn (27)			3,3	80		
Sakaguchi (85)					99	68
Sakaguchi (86)			1,5	52	55	62
Aschberg (4)			2,9	120	180	118
Ehringer (34)					21,7	64
Kappert (57)					25	125
Barnes (11)					39	102
eigene Werte	39,9	63	5,2	130	43,2	125

Weitaus am schwierigsten mit Hilfe der Plethysmographie ist das Postthrombotische Syndrom zu beurteilen. Es gibt bei diesem Krankheitsbild je nach Umfang der ursprünglichen Thrombose und je nach der Ausbildung von Kollateralen und Rekanalisation mit häufig hinzutretender sekundärer Varikosis die unterschiedlichsten Ergebnisse, die im Einzelfall oft sehr schwer zu interpretieren sind. Dementsprechend variieren die gegenüber den Normalwerten verglichenen Untersuchungsergebnisse aller Autoren am weitesten. Der Grund für diese gravierenden Unterschiede liegt vermutlich im instabilen Krankheitsbild. Die plethysmographisch erfaßbaren Werte der venösen Teilfunktionen ändern sich im Verlauf nach einer Thrombose ständig. Dazu kommt, daß es Patienten mit exogen oder endogen induzierter rezidivierender tiefer Venenthrombose gibt. Es findet sich dabei ein Mischbild aus akuter Phlebothrombose und postthrombotischem Syndrom. Bei der Angabe von Durchschnittswerten kommt es also auf das untersuchte Kollektiv an. Rezidivierende Thrombosen und relativ junge postthrombotische Zustände liegen bei den Kapazitäts- und Drainagewerten noch unter den Ergebnissen von Gesunden, während ältere Zustände nach Thrombosen mit ausgeprägteren sekundären Varizen und Venenklappenzerstörungen größere Werte als die Gesunden aufweisen. Bei den hier untersuchten Patienten wurde durch konsequente Trennung ver-

sucht, die charakteristischen Unterschiede beider Kollektive, des frühen und des späten Zustandes nach Thrombose darzustellen.

Eine eindeutige Änderung der Werte, im Gegensatz zu den bisher üblichen plethysmographischen Methoden bringt die wvp-Messung nach Kuiper (60). Hier zeigt sich keine wesentliche Änderung der Muskelpumpenleistung im Verlauf nach einer Thrombose. Eine einmal eingetretene Verschlechterung der aktiven Drainage bleibt im allgemeienen bestehen, trotz Zunahme des passiven venösen Abflusses. Der Grund dafür dürfte in der bleibenden Zerstörung der Klappen im tiefen Venensystem zu suchen sein. Bei Ausbildung von sekundären Varizen und der damit verbundenen Klappeninsuffizienz des epifascialen Venensystems sowie nach Thromboserezidiven erfolgt ein weiteres geringes Absinken der Muskelpumpenwirkung.

Eine wertvolle Ergänzung zur Methode nach Kuiper und Brakkee bringt die Verwendung von Tourniquets. Abbildung 12 zeigt die Bereiche verschiedener Krankheitsbilder. Alle hier untersuchten Extremitäten ließen sich eindeutig nach plethysmographischen, klinischen und phlebologischen Befund in die jeweiligen Bereiche einordnen. Im Bereich der Kompensation liegen vorwiegend die frühen Zustände nach Thrombose. Teilweise kompensiert waren einige postthrombotische Syndrome, während im Bereich der Dekompensation frühe und späte Zustände nach Thrombose gleichermaßen vertreten sind.

Plethysmographische Messungen bei chronischen Lymphödemen sind bisher nur von Sakaguchi und Mitarbeiter zu finden (85, 86). Bei ihnen ergeben sich für die Kapazität und die venöse Drainage keine wesentlichen Unterschiede zu Gesunden. Die eigenen Messungen erbrachten für schwere chronische Lymphödeme ebenfalls keine Änderung. Lediglich der passive venöse Abfluß zeigte durchschnittliche Abweichungen von 20 % nach unten. Diese Abweichung kann aber wegen der geringen Patientenzahl sowie des großen Fehlerbereiches als nicht sicher signifikant gelten.

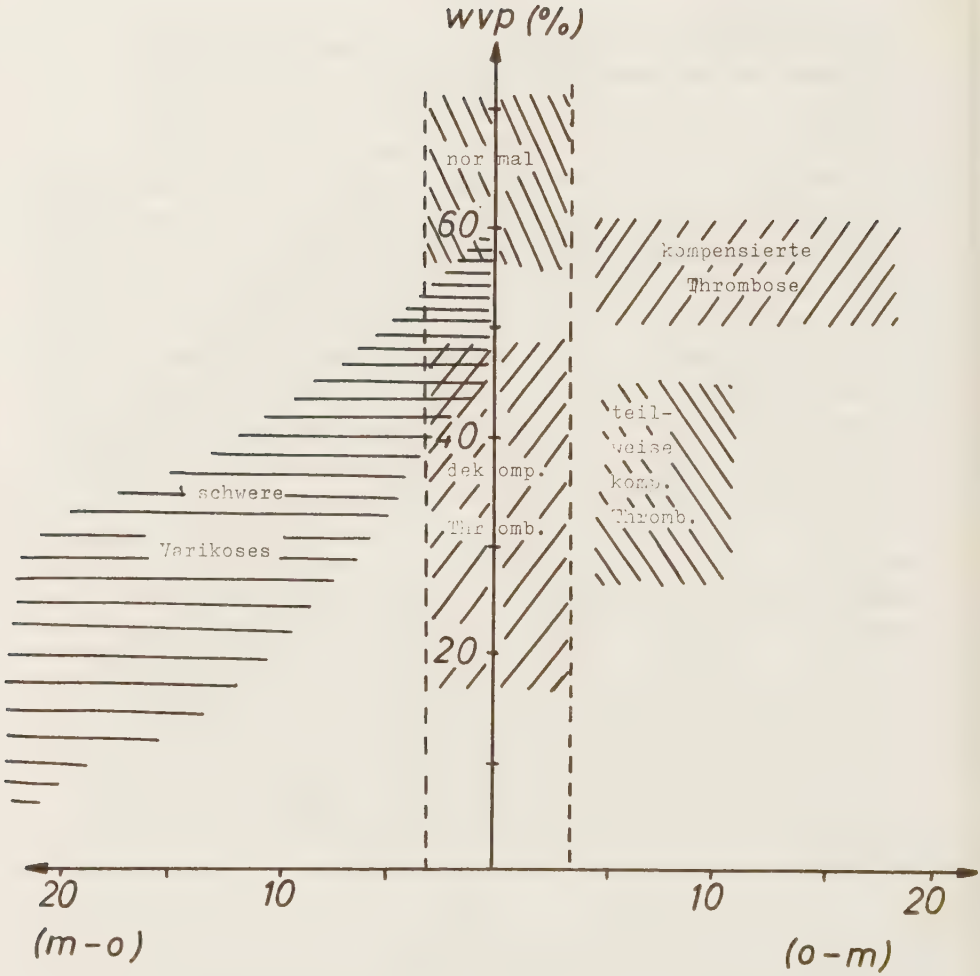

Abb. 12 Tourniquet-Versuch bei Anwendung der unblutigen plethysmographischen Venendruckmessung
m: Messungen mit Stau
o: Messungen ohne Stau
wvp: walking venous pressurefall (%)

Unbefriedigend verliefen die Vergleichsuntersuchungen der unblutigen mit der blutigen Druckmessung. Es kann nicht bezweifelt werden, daß die blutige periphere Druckmessung eine exakte und objektive Methode ist, wenn ein freier Fluß zwischen Meßsystem und Venenhergestellt wird. Daß dies bei den eigenen Untersuchungen nicht bestätigt wurde, zeigt die Problematik der blutigen Methode.

Besonders bei Patienten mit vorgeschädigten Venen, mit Sklerödem oder mit Ulcus cruris gelingt es nur schwer, einen geeigneten Zugang zu finden. Auch zeigt die Doppelstudie, daß man trotz Venenzugang nicht sicher sein kann, einen freien unbehinderten Fluß geschaffen zu haben. Eine weitere Ursache für die Diskrepanz der Werte könnte die eingeschränkte Bewegungsfreiheit sein, die durch die Kanüle hervorgerufen wurde. H. Lindemayr (100) konnte an 82 Patienten statistische verwertbare Ergebnisse der blutigen Venendruckmessung erzielen, die mit den Ergebnissen dieser Arbeit vereinbar sind (Tab. 12). Mit der unblutigen Druckmessung steht eine Methode zur Verfügung, die, wie statistische Berechnungen zeigten gleichmäßig zuverlässige Ergebnisse bringt. Die Messungen können von medizinischen Hilfspersonal in etwa einer halben Stunde vollendet werden. Eine weitere halbe Stunde benötigt man zur Auswertung. Bei Rationalisierungsmaßnahmen könnte die gesamte Meß- und Auswertungsdauer für beide Extremitäten einer Person auf etwa 30 bis 40 Minuten gekürzt werden. Die eigentliche Meßzeit für die Volumenminderung beim Arbeitsversuch beläuft sich auf fünf Minuten. Dieser Test kann beliebig oft und ohne Belastung des Patienten wiederholt werden. So kann für die Auswertung ein exakter Mittelwert erarbeitet werden. Es könnte zudem bei Verlaufskontrollen auf die Erstellung der Druck-Volumen-Relation verzichtet werden, wenn auf gleichmäßige Versuchsbedingungen geachtet wird. Bei größeren Abständen der Untersuchungstermine muß allerdings dringend geraten werden, den gesamten Meßablauf durchzuführen, da sich doch im Ablauf der Krankheit die Kapazität der Venen ändern kann.

Die Treffsicherheit der wvp-Messungen und damit die Aussagekraft ist gegenüber den bisherigen plethysmographischen Methoden erheblich besser. Damit wäre die unblutige Venendruckmessung als zusätzliche Aussage zum klinischen Befund und zur Phlebographie über die venösen Funktionsstörungen für die Diagnostik und die Therapie- und Verlaufskontrollen sehr gut geeignet, zumal sie als einzige unblutige quantitative Aussage über die venöse Hämodynamik dem Arzt zur Verfügung steht. Als Nachteil muß die Tatsache genannt werden, daß durch die unblutige Druckmessung weniger schwere Fälle, wie kleinere Thrombosen nicht erfaßt werden, da sich eine hämodynamische Störung hier noch nicht auswirkt. Auch eine Lokalisation der die hämodynamische Störung hervorrufenden Schädigung ist nicht möglich.

Tab. 12 Vergleich der Untersuchungen von H. Lindemayr (1979) (blutige Venendruckmessungen) mit den eigenen Ergebnissen (plethysmographische Methode nach Kuiper)

	blutige Venendruck-messung (H.Lindemayr)		Plethysmographie nach Kuiper (eigene Werte	
Untersuchte Extremität	absol. Wert mm Hg	Abweichung %	absol. Wert wvp (%)	Abweichung %
Gesunde	50	-	63,5	-
leichte Varikose	46	90	62	97
schwere Varikose	38	76	42	67
postthrombot. Zustand	29	58	39	61

VII ZUSAMMENFASSUNG

In der Einleitung wird die Bedeutung der Beinvenenleiden, insbesondere in sozialmedizinischer Sicht, besprochen. Weiter werden die physiologischen Grundlagen des Niederdrucksystems der unteren Extremität sowie die pathologischen Veränderungen des venösen Rückflusses in Erinnerung gerufen und die diagnostischen Möglichkeiten bei Venenerkrankungen aufgezeigt, wobei hier besonderer Wert auf die moderne apparative Diagnostik gelegt wird.

In Teil II wird die in dieser Arbeit angewandte Methodik, von den Anfängen über die Weiterentwicklung bis hin zum jüngsten Fortschritt besprochen und die grundlegenden Unterschiede der drei bisher existierenden plethysmographischen Verfahren erläutert, wobei die hier gebrauchte Methode besonders detailliert angeführt wird. Es wird auch gezeigt, wie die venösen Teilfunktionen Kapazität, passiver Abstrom und Muskelpumpenleistung definiert und plethysmographisch ermittelt werden können. Auf die Venendruck-Volumen-Relation als zentrales Thema der Methodik wird speziell eingegangen.

In Teil III folgen die Anordnung und die Ausführung der Untersuchungsmethode, die eng an die Beschreibung von Kuiper und Brakkee (1971) angelehnt und modifiziert ist. Es werden Berechnungen für den Venendruck im Stehen und eine Anleitung für das Ausarbeiten der gewonnenen Meßergebnisse vorgeschlagen, sowie die Prinzipien der peripheren, blutigen Venendruckmessung erklärt.

Insgesamt wurden 70 Personen in 84 Sitzungen der Plethysmographie unterzogen. Um Normbereiche angeben zu können, wurden an 30 gesunden Extremitäten 68 Messungen durchgeführt. Des weiteren wurden Patienten mit Varikosis, Lymphödem, Thrombose, Postthrombotischem Syndrom und arterieller Verschlußerkrankung plethysmographiert.

Folgende Ergebnisse wurden gefunden:
Nach eingehender Prüfung auf Temperaturabhängigkeit der Methode und nach Erstellung einer Eichkurve für den Umrechnungsfak-

tor g wurden statistische Berechnungen der Meßwerte für gesunde Extremitäten durchgeführt. Dabei wurden folgende Normalwerte gefunden:

1. Kapazität c = 3,9 ± 1,84 ml/100 ml Gewebe
2. Drainage m = 34,8 ± 17,5 ml/100 ml Gewebe/Minute
3. Muskelpumpenleistung wvp = 63,5 ± 8,8 %

Für die venöse Drainage und für die Muskelpumpenleistung wurden keine individuellen Streuungen gefunden. Für die Kapazität wurden je nach Geschlecht der Untersuchten und je nach Trainingszustand große Unterschiede festgestellt. Abweichende Durchschnittswerte der venösen Teilfunktionen wurden für die oben genannten Krankheitsbilder errechnet. Für die Muskelpumpenleistung werden hier zum ersten Mal mit Hilfe der unblutigen Venendruckmessung gewonnene charakteristische Durchschnittswerte dieser Krankheitsbilder vorgestellt. Abhängigkeiten der venösen Teilfunktionen untereinander und unterschiedlich je nach pathologischen Veränderungen wurden gefunden und in Diagrammen dargestellt.

Aus den Ergebnissen geht der Parameter wvp als der bisher genaueste und zuverlässigste der durch die Plethysmographie erhältlichen Aussagen hervor. Die exakten Vergleichswerte der unblutigen und der blutigen Venendruckmessung, wie sie Kuiper und Brakkee feststellten, konnten nicht bestätigt werden (Tab. 6).

In der anschließenden Diskussion werden die plethysmographischen Untersuchungsergebnisse bisheriger Veröffentlichungen kritisch verglichen und mit dem Ergebnis dieser Arbeit in Bezug gesetzt. Vor- und Nachteile der Plethysmographie gegenüber der blutigen peripheren Venendruckmessung werden am Schluß gegenübergestellt.

1. ABRAHAMSON, D.I.: Vascular response in the extremities of man in health and disease, University Chicago Press, 1967

2. ALLAN, J.C.: Volume changes in the lower limb in response to postural alterations and muscular exercise. S.Afr. J. Surg. 2 (1964) 75

3. ARNOLDI, C.C.: Physiologie und Pathophysiologie des venösen Rückstroms aus der unteren Extremität, in Varizen, Ulcus cruris und Thrombose, Hrsg.: Karl Sigg, Springer, Berlin 1976, 4.Aufl.

4. ASCHBERG, S.: Crural venous obstruction or incompetence Acta chir. scand., Suppl. 436 (1973) 1

5. BARBEY, K., P. BARBEY: Ein neuer Plethysmograph zur Messung der Extremitätendurchblutung, Z. Kreisl.-Forsch. 52, 1129, 1963

6. BARBEY, K., BRECHT, K.: Venentonus, Venenkapazität und ihre Messung, Med. Welt, 16, 727, 1965

7. BARBEY, K. W. ADAM: Die Messung von Druckvolumendiagrammen am Bein, Arch. klin. experim. Dermat. 222 (1965 b) 574

8. BARBEY, K., H. de Marées: Grenzen der Luft- und "strain-gauge"-Plethysmographie, in H. Ehringer, Durchblutungsstörungen, Hrsg.: E. Deutsch, Schattauer, Stuttgart 197o

9. BARBEY, K., H. de Marées: Die Messung der druckabhängigen venösen Kapazität, in Meßmethoden in der Venenchirurgie, Aktuelle Probleme in der Angiologie, Bd. 5, S.13o Hrsg. R. May, Huber, Bern 1971

1o. BARNES, W.R., P.E. COLLICOTT: Noninvasive quantition of maximum venous outflow in acute thrombophlebitis, Surgery 72 (1972) 971

11. BARNES, W.R., E.A. ROSS, D.E.STRANDNESS: Differentiation of primary from secondary varicose veins by doppler ultrasound and strain gauge plethysmography, Surg. Gynec. Obstet. 141 (1975) 2o

12. BECHER, R., H. MÜLLER-WIEFEL: Thrombosediagnostik mit 131-J-Humanfibrinogen, in Meßmethoden der Venenchirurgie, Hrsg. R. May, Huber, Bern 1971

13. BECKER, H. M., KLEMM, J.: Zur Wertigkeit der Dehnungsmeßstreifenmethode - Stauplethysmographie, Herz-Kreisl., 4/7, 254, 1972

14. BEVEGARD, B.S., SHEPERD, J.T.: Changes in tone of limb veins during supine exercise, J. appl. Physiol. 2o, 1965

15. BOBEK, K., CAJZL, L. et.al.: Etude de la fréquence des maladies phlébologiques et de influence de quelques facteurs étiologiques, Phlébologie, 19, 217, 1966

16. BOLLINGER, A.: Durchblutungsmessungen in der klin. Angiologie H. Huber, Bern, 1969

17. BOLLINGER, A., F. MAHLER: Untersuchungen des venösen Kreislaufs mit Doppler-Strömungsdetektoren, Zbl. Phlebol. 8 212 (1969)

18. BOLLINGER, A: Zur Dynamik des Rückstroms aus der V. femoralis, Z. Kreislauf-Forschung, 59, 963, 197o

19. BOLLINGER, A., A. Grintzig: Strömung im Venensystem,
in Renale Durchblutungsstörungen,
Hrsg. Heinrich, F., Schattauer, Stuttgart 1972

2o. BORSCHBERG, E.: The Prevalence of varicose veins in the lower
extremities,
S. Karger, Basel - New York, 1967

21. BRECHER, G.A.: Venous return,
Grune and Stratton, New York 1956

22. BROCKMANN, S.K., J.S.VASKO: The pathologic physiology of
phlegmasia cerulea dolens,
Surgery 59, 997 1966

23. BRODIE, T.G., RUSELL, A.E.M.: On the determination of the rate
of blood flow through anorgan,
J. of Physiol. 32, 47 P. 19o5

24. BYGDEMANN, S., S. ASCHBERG, T.HINDMARSH: Venous plethysmography
in the diagnosis of chronic venous insufficiency,
Acta chir. Scand. 137 (1971) 423

25. CONDORELLI, L.: Neue Aspekte der posturalen Gefäßreflexe mit
örtlicher Wirkung,
Arch. Kreislauf-Forschung 46, 74-97, 1965

26. DAHN, I.: On clinical use of venous occlusion plethysmo-
graphy of calf. 1. Methods and controls,
Acta chir. Scand. 13o, 42, 1965

27. DAHN, I., E. EIRIKSSON: Plethysmographic diagnosis of deep
venous thrombosis of the leg,
Acta chir. Scand. Suppl. 394 (1968)

28. DA SILVA, A., WIDMER, L.K., MARTIN, H., et al: Varicose veins
and chronic venous insufficiency,
Vasa, 3/2, 118, 1974

29. DICK, W.: Die Prophylaxe der Thrombose und Embolie, Erfahrungsbericht a.d. Tübinger Klinik, Med. 1958, 543

3o. DOHN, K.: Investigations of the venous system of the lower extremities during activity, J. Bone and Joint Surgery 343, 528, 1952

31. DUCHOSAL, F., H. ALLEMANN, L.K. WIDMER, M. BREIL, M.J. LEU: Varikosis - Alter - Körpergewicht, Z. Kreisl.Forsch. 57, 38o, 1968

32. EBELL, B.: The Papyrus Ebers. The greatest Egyptian medical document, Kopenhagen 1937

33. EHINGER, W.: Thermische Einflüsse auf das kapazitive Venensystem, Dissertation, Ulm, 1977

34. EHRINGER, H., M. WALCHSHOFER: Plethysmographische Beurteilung der Beinvenenfunktion am Kipptisch, Tagung der Österr.Gesellsch.f.Ang., Graz 1976

35. EHRINGER, H., H. INGERLE, M. WALCHSHOFER, H. POKIESER, H. CZEMBIREK, H.P. MAYRHOFER: Plethysmographie in der Diagnose der tiefen Beinvenenthrombose, in Aktuelle Probleme in der Angiologie Bd. 33 Hrsg.: H. Ehringer, Huber, Bern, 1977

36. EHRINGER, H.: Plethysmographie

37. EIRIKSON, E.: Plethysmographic studies of venous diseases of the legs, Acta chir. Scand., Suppl. 398, 1968

38. FEGAN, G.: Varicose veins, Heinemann, London 1967

39. FISCHER, H.: Die Extremitätendurchblutung beim varikösen Symptomenkomplex,
Med. Welt, 18 (N.F.) 37o, 1967 (1)

4o. FOOTE, R.: Varicose veins,
3. Aufl. Wright, Bristol, 196o

41. GLASER, V.: Eine Apparatur zur elektro-optischen Registrierung der Atembewegungen, Elektro-Pneumograph,
Klin. W.Schr., 18, 34, 1156, 1939

42. GRAF, K., WESTERSTEN, A.: Untersuchungen über Eigenschaften und Verwendungsmöglichkeiten eines flexiblen Extremitätenplethysmographen,
Acta Physiol. Scand., 46, 1, 1959

43. GROSSMANN, K.: Der plethysmographische Nachweis der Venenthrombose,
Folia Haematol, 1o2 (1975) 67

44. GUBERAN, E., WIDMER, L.K.: Causative Factors of Varicose veins, Myths and facts,
Vasa 2/2, 115, 1973

45. GUNDERSEN, J., HANGE, M.: Hereditary factors in venous Insufficiency,
Angiology, 2o, 346, 1969

46. GUTMANN, J., V. KACHEL, G. BRÜNDL: Vergleichende Messungen mit neuen rheographischen und plethysmographischen Meßgeräten,
Sonderheft Elektromedizin, 87 (1969)

47. GUTMANN, J., J. KRÖTZ: Quantitative Messungen bei Durchblutungsstörungen,
Diagnostik 3, 2o5 (197o)

48. GUTMANN, J.: Moderne Gerätetechnik für die Venenverschlußplethysmographie,
Herz-Kreisl. 3, 365, 1971

49. GUTMANN, J., KRÖTZ, J.: Zur Genauigkeit der Dehnungsmeßstreifenmethode bei der venösen Kapazitätsmessung,
Fol. angiol. Vol. XX/B, 1o3, 1972

5o. HAEGER, K.: Venous and lymphatic disorders of the leg,
Lund: Scandinavian University Books, 1966

51. HALLBÖÖK, T., B. MANSON, R. NILSEN: A strain gauge plethysmograph with electrical calibration,
Scand. J. Clin. lab. Invest. 25, 43o, 197o

52. HALLBÖÖK, T., GÖTLIN, J.: Strain gauge plethysmography and phlebography in diagnosis of deep venous thrombosis,
Acta chir. Scand. 137, 32, 1971

53. HALLBÖÖK, T., L. LING: Resting blood flow at deep venous thrombosis of the leg,
Acta Chir. Scand. 138 (1972) 581

54. HESS, H.: Die obliterierenden Gefäßerkrankungen,
Urban & Schwarzenberg, Berlin, 1959

55. HEWLETT, A.W., VAN ZWALUWENBURG: The rate of blood flow in the arm,
Heart, 1, 87, 19o9

56. JOURDAN, F., FANCON, G.: Die Venenströmung in den unteren Gliedmaßen,
1. Internat. Kongr. Phlebologie, Chambéry, 196o

57. KAPPERT, A.: Eine neue Methode zur funktionellen Untersuchung des Venensystems der unteren Extremitäten,
Praxis, 55, 1291, 1966

58. KAPPERT, A.: Lehrbuch und Atlas der Angiologie,
Huber, Bern, 1969

59. KUIPER, J.P.: Perifere veneuze drukmeting,
Diss. University, Nijmegen 1966

60. KUIPER, J.P., A.J.M. BRAKKEE: Unblutige Venendruckmessung,
Hautarzt 22 (1971) 153

61. LEU, H.J.: Die Spontanrekanalisation thrombotischer Venenverschlüsse in pathologisch anatomischer Sicht,
Zbl. Phlebol. 7, 4 - 6, 1968

62. LEU, H.J.: Die moderne meßtechnische Beurteilung venöser Erkrankungen,
Med. Welt 41 (1969) 2242

63. LEU, H.J.: Histopathologie der peripheren Venenerkrankungen,
Huber, Bern, 1971

64. LEU, H.J.: Die Dehungsmeßstreifenplethysmographie,
in Meßmethoden in der Venenchirurgie,
Hrsg.: R.May, Huber, Bern, 1971

65. LEWIS, T., R.T. GRANT: Observation upon reactive hyperaemia in man,
Heart 12, 73, 1925

66. MAHLER, F., W. RUTISHAUSER: Indikatorverdünnungsmethoden in der Venendiagnostik,
in Meßmethoden der Venenchirurgie,
Hrsg.: R.Mai, Huber, Bern, 1971

67. MAHORNER, H.R., A. OCHSNER: A new test for evaluating circulation in the venous system of the lower extremity affected by varicosities,
Arch. Surg. 33 (1936) 479

68. MARBES, H., K.BARBEY: Die Messung kompletter Druck-Volumen-Diagramme,
in Meßmethoden in der Venenchirurgie,
Hrsg.: R. May, Huber, Bern, 1971

69. MAY, R., P. NISSL: Die Phlebographie der unteren Extremität,
Georg Thieme, Stuttgart, 1959

70. MAY, R.: Venendruckmessung,
in Renale Durchblutungsstörungen,
Hrsg.:F. Heinrich, Schattauer, Stuttgart 1972

71. MAY, R.: Klinische Diagnose der tiefen Bein- und Beckenvenenthrombose,
in Aktuelle Probleme in der Angiologie,
Hrsg.:H. Ehringer, Huber, Bern, 1977

72. MC KAY, I.F.S., MC CARTHY, G.: Measurement of venous valvular competency in the legs,
J. Appl. Physiol. 12, 329, 1958

73. MEYER-STEINEG, Th., SUDHOFF, K.: Illustrierte Geschichte der Medizin,
Hrsg.:R. Herrlinger und F. Kudlien,
Gustav Fischer, Stuttgart, 1965

74. NETZER, C.O.: Zur Physiologie und Pathophysiologie der Wadenmuskelpumpe,
in Meßmethoden in der Venenchirurgie,
Hrsg.:May, R., Huber, Bern, 1971

75. NIEDERLE, P., PREROVSKY, J.: The relationship between venous pressure and volume in the lower extremity during exercise,
Vasa 4/1, 4o, 1975

76. NORGREN, L., THULESIUS, O., GJOERES, J.E.: Foot volumetry and simultaneous pressure measurements for evaluations venous insufficiency,
Vasa 3/2, 14o, 1974

77. PARTSCH, H., O. LOFFERER: Untersuchungen des venösen Rückstroms aus der unteren Extremität mit einem direktionalen Ultraschalldetektor, Klin. W.schr. Wien, 83 (1971) 781

78. PAUSCHINGER, P.: Die Venenkapazität und ihre Messung, in Renale Durchblutungsstörungen, Hrsg.: F. Heinrich, Schattauer, Stuttgart 1972

79. PERTHES, G.: Über die Operation der Unterschenkelvarizen nach Trendelenburg, Dtsch. Med. W.schr. 1 (1895) 253

8o. PIRNAT, L.: Epidemiologische Untersuchungen zum varikösen Symptomenkomplex in Industriebetrieben, in Ergebnisse der Angiologie, Bd.4, 11, Hrsg.: H. Teller, Schattauer, Stuttgart, 197o

81. POKIESER, H., H. CZEMBIREK, H.P. MAYRHOFER, H. EHRINGER: Die Phlebographie, in Aktuelle Probleme der Angiologie 33, Akute tiefe Becken- und Beinvenenthrombosen, Hrsg.: H. Ehringer, Huber, Bern (1977)

82. RIECKERT, H.: Die Hämodynamik des venösen Rückflusses aus der unteren Extremität, Arch. Kreislaufforsch. 62 (197o) 293

83. RUDOFSKY, G.: Die Beurteilung venöser Erkrankungen an der unteren Extremität mittels Verschlußplethysmographie, Ref. München 1976, Veranst. Prof. C. O. Netzer, Kh. Neuperlach, München, Gefäßchir. Abtlg.

84. RUDOFSKY, G.: Untersuchungen zur Epidemiologie, Pathophysiologie, Diagnostik und Therapie venöser Erkrankungen, Habil. Universität Ulm, 1978

85. SAKAGUCHI, S.K. ISHITOBI: Functional Segmental Plethysmography, Angiology 21 (197o) 714

86. SAKAGUCHI, S.K. ISHITOBI, T. KAMEDA: Functional segmental plethysmography with mercury strain gauge, Angiology 23 (1972) 127

87. SCHIELE - LUFTMANN, K., TELLER, H.: Arbeitsunfähigkeitsdauer bei venösen Beinleiden, Ergebnisse der Angiologie, 4, 41, Schattauer, Stuttgart, New York, 197o

88. SCHNEIDER, M., GLAUS, L., WIDMER, L.K., LEU, H.J.: Sind Varizenträger venenkrank ? D. Med. W. 8, 98, 343, 1973

89. SHARPEY - SCHAFER, E.P.: Venous tone, Brit. Med. J., Dec. 16, 1589, 1961

9o. SIGEL, B., G.L. POPKY: A doppler ultrasound method for diagnosing lower extremity venous disease, Surg. Gynec. Obst. 127, 339 (1968)

91. STARCK, D., FRICK, H.: Repititorium anatomicum, 12. Aufl., Thieme, Stuttgart, 1972

92. THRON, H.L., SCHEPPOKAT, K.D., HEYDEN, A., GAUER, O.H.: Das Verhalten der kapazitiven und der Widerstandsgefäße der menschlichen Hand in Abhängigkeit von thermischen Einflüssen, Pflügers Arch. ges. Physiol. 266, 15o, 1958

93. THULESIUS, O., L. NORGREN, J.E. GJOERES: Foot-volumetry, a new method for objective assessement of edema and venous function, Vasa 2 (1973) 325

94 VOIGT, H., F. HACKEL, WIEMERS, U.: Zur Diagnose und Verlaufskontrolle peripherer Venenerkrankungen, Derm. M.schr. 160 (1974) 556

95 WEDELL, J.M.: Varikose Veins Pilot Survey, Brit. J. prev. soc. Med., 23, 179, 1969

96 WIDMER, L.K., P. WAIBEL: Venenkrankheiten in der Praxis, Huber, Bern 1968

97 WIDMER, L.K., MADAR, G.: Fragen zur sozialmedizinischen Bedeutung der Venenthrombose, in Ergebnisse der Angiologie, 4, Hrsg.: Teller, H., Schattauer, Stuttgart, 1970

98 WITHNEY, R.J.: The measurement of volume changes in human limbs, J. Physiol., 121, 1, 1953

99 WOOD, J.E., LITTER, J.E., WILKENS, R.W.: Peripheral venoconstriction in human congestive heart failure, Circulation, 13 (1956) 524

100 LINDEMAYR, H., SANTLER, R., SEIDEL, K.: Phlebodynamometrische Messungen an Varizenpatienten unter Verwendung von Tourniquets, Phlebo. u. Proktol. 8: 103-110 (1979)

IX LEBENSLAUF

Als Sohn des Arztes Dr. med Josef Weiß und seiner Ehefrau Elvira wurde ich am 6. Juni 1945 in Altötting geboren.

1952 trat ich in die Volksschule im Landschulheim Grunertshofen ein und besuchte dann, nach längerer Krankheit, von 1961 bis 1965 die Wirtschaftsaufbauschule in München, die ich mit mittlerer Reife abschloß.

Von 1965 bis 1968 erlernte ich in der Chemieschule Dr. E. Elhardt den Beruf des Chemotechnikers. Anschließend war ich bis Ende 1971 in den Max-Planck-Instituten für Verhaltensphysiologie in Seewiesen bei Erling-Andechs und für Biochemie in München berufstätig. Während dessen besuchte ich das Abendgymnasium für Berufstätige in München, wo ich 1972 die Reifeprüfung ablegte.

Im November 1972 nahm ich das Medizinstudium an der Ludwig Maximilians-Universität in München auf. Nach Ablegung der ärztlichen Vorprüfung im April 1975 und der ärztlichen Prüfungen (1. Abschnitt im März 1976, 2. Abschnitt im März 1978, 3. Abschnitt im April 1979) schloß ich mein Studium am 9. Mai 1979 mit dem mündlichen Teil der ärztlichen Prüfung und damit mit dem medizinischen Staatsexamen ab.

Von August 1979 bis Ende Juni 1981 war ich im ärztlichen Beruf im chirurgischen Unfallkrankenhaus in Seefeld/Oberbayern tätig. Seit 1. Juli 1981 führe ich selbständig eine allgemeine Landarztpraxis in 8911 Schwabhausen/Weil bei Landsberg.